

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra částí a mechanismů strojů

Magisterský studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Zaměření: Inovační inženýrství

Inovace zařízení pro řezání plastových lanek

Innovation of plastic cable cutting machine

KST –

Martin Dopita

Vedoucí práce: prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc., Katedra částí a mechanismů strojů

Konzultant: Ing. Zuzana Rejnartová, INGSEVISS-PLAST s. r. o., Oldřichov v Hájích

Počet stran: 74

Počet příloh

a tabulek: 14

Počet modelů

nebo jiných příloh: 1

Datum: 19.5. 2015

Označení DP:

Řešitel: Martin Dopita

Inovace zařízení pro řezání plastových lanek

ANOTACE:

Tato diplomová práce pojednává o inovaci zařízení na řezání plastových lanek. Jedná se o systematické využití znalostí a prostředků inovačního procesu, jehož snahou je rychlá transformace prvotních nápadů a myšlenek do současného řezacího aparátu. Pozornost bude zaměřena na detailní představení současného stavu, dále na možnosti současného trhu. Součástí budou i návrhy jednotlivých variant řešení, jejich detailní popis a následovné vyhodnocení pomocí analýz inovačního inženýrství. Následovně přejde práce v detailní návrh vybrané varianty, která bude představena a zhodnocena – nejen dle přínosů vnesených do stávajícího procesu, ale i dle ekonomických kritérií.

Innovation of plastic cable cutting machine

ANNOTATION:

This dissertation discourses the innovation of the plastic cable-cutting machine. It is about systematical use of knowledge and sources of the innovation process which pursuit is to quickly transform prime ideas and thoughts into actual cutting device. The main focus is targeted towards the detailed description of the actual state, then towards the possibilities of the current market situation. Part of this thesis is also about the proposed solutions, its description and evaluation with the help of innovative engineering analysis. This part is going to be followed by a detailed design of the chosen option. This option is will be not only introduced but also evaluated by both benefits brought into the current situation and also by the economic criteria.

Klíčová slova: plastové lanko, tavení, řezání, rozhodovací matice, inovační inženýrství

Zpracovatel: TU v Liberci, KST

Dokončeno: 2015

Archivní označení zprávy:

Počet stran: 75

Počet příloh: 3

Počet obrázků: 29

Počet tabulek: 11

Počet diagramů: 0

MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 12.5.2015

Podpis:

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat paní Ing. Zuzaně Rejnartové ze společnosti INGSEVISS-PLAST s. r. o. za milé jednání, nikdy neutuchající ochotu a nasazení a především za pomoc v dané problematice. Dále bych rád poděkoval panu prof. Ing. Ladislavu Ševčíkovi, CSc., za profesionalitu vloženou do vedení mé diplomové práce, za inspiraci a podněty, bez kterých by má práce nikdy nebyla taková, jaká je.

Dále bych rád poděkoval svojí rodině, za podporu, za debaty a především za jejich trpělivost. V poslední řadě bych rád poděkoval i celému sboru dobrovolných hasičů Bezáskovice, za rady, připomínky a podporu.

Obsah

SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ	8
ÚVOD	11
Cíle diplomové práce	13
1. Seznámení s firmou INGSERVISS-PLAST s. r. o. a její produkcí	14
2. Analýza stávajícího stavu	15
2.1 Současný řezací aparát	15
2.2 Technická data polotovaru a řezného aparátu	16
2.3 Výhody, nevýhody	18
3. Seznam příležitostí	19
3.1 Průzkum trhu	19
3.2 Stacionární řezačka	20
3.3 Řezání laserem	20
3.4 Řezání plamenem	22
3.5 Řezání plasmovým hořákem	22
3.6 Tavné řezání (tepelný nůž, odporový drát)	23
3.7 Inovační příležitosti	24
3.8 Inovační záměr	24
4. Návrh pěti konceptů, jejich představení a zhodnocení	25
4.1 Koncept č. 1	25
4.2 Koncept č. 2	27
4.3 Koncept č. 3	28
4.4 Koncept č. 4	29
4.5 Koncept č. 5	30
4.6 Zhodnocení konceptů	31
5. Výběr finálního konceptu a jeho prezentace	32
6. Podrobný konstrukční návrh	36
6.1 Vstupní část stroje	36
6.2 Hnací ústrojí	38
6.3 Řezné ústrojí	40
6.4 Bezpečnostní, ovládací a signalizační prvky stroje	42

6.5 Kontrolní výpočty	44
Kontrolní výpočet momentů setrvačnosti.....	44
Kontrolní výpočet síly potřebné na protažení provázku	45
Kontrolní výpočet odporové síly při valení	47
Kontrolní výpočet kroutícího momentu krokového motoru.....	48
Teoretický výpočet počtu otáček pro předepsanou délku polotovaru.....	49
Návrh přitlačné síly.....	50
Návrh pružiny	51
Pevnostní návrh hřídele	53
Návrh a kontrola ložiska	59
Návrh zdroje pro odporový drát	60
7. Ekonomické zhodnocení	63
Předpokládaný stav inovovaného výrobku	63
Finanční náročnost navrženého stroje.....	64
Závěr.....	67
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	69
SEZNAM OBRÁZKŮ	71
SEZNAM TABULEK	73
SEZNAM PŘÍLOH.....	74

SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

Apod.	A podobně
Obr.	Obrázek
Tab.	Tabulka
Č.	Číslo
Např.	Například
Kč	Koruna česká
Min	Minuta
Sec	Sekunda
Hod	Hodina
Str.	Strana
Ot	Otáčky [ot/min]
Ks	Počet kusů
P	Produktivita [ks/min]
M	Množství [ks]
Z	Denní zisk [Kč]
Max.	Maximální
Prac.	Pracovní
I	Moment setrvačnosti [kg.m ²]
F _p	Síla protažení provázku [N]
m	Hmotnost [kg]
a	Zrychlení [mm.s ⁻²]
d	Průměr [mm]
l	Délka [mm]
ρ	Měrná hustota [kg.m ³]

g	Tíhové zrychlení [m.s^{-2}]
F_v	Síla vytažení provázku [N]
F_c	Celková síla tažení provázku [N]
e	Excentricita [mm]
R	Poloměr [mm]
F_n, N	Normální síla [mm]
F_t	Valivý odpor [N]
M_k	Krouticí moment [Nm]
ε	Úhlové zrychlení [rad.s^{-2}]
α	Úhel pootočení [$^\circ$]
F_a, F_p	Přítlačná síla [N]
f	Součinitel tření [-]
D_e	Vnější průměr pružiny [mm]
L_0	Volná délka pružiny [mm]
n_t	Počet závitů pružiny [-]
G	Modul pružnosti ve smyku [MPa]
P_p	Průměr pracovního prostoru pružiny [mm]
R_{se}	Mez kluzu ve smyku [MPa]
K	Tuhost [N/mm]
l_s	Délka pružiny v mezním stavu [mm]
F_s	Síla v mezním stavu pružiny [N]
C	Poměr vinutí [-]
τ_s	Smykové napětí v mezním stavu pružiny [MPa]
K_s	Tuhost v mezním stavu pružiny [N/mm]
R_A	Reakce v levé podpoře hřídele [N]
R_B	Reakce v pravé podpoře hřídele [N]

T_k	Napětí v krutu [MPa]
T_1	Tečná síla [N]
X_1	Výpočtová množina [mm]
σ_o	Ohybové napětí v průřezu [MPa]
σ_o^*	Mezní ohybové napětí v průřezu [MPa]
R_m	Mez pevnosti material v tahu [MPa]
μ	Součinitel jakosti povrchu [-]
ν	Součinitel velikosti [-]
β	Součinitel vrubové houževnatosti [-]
K_o	Tvar vrubu [-]
T_k^*	Mezní napětí v krutu [MPa]
$K_{\sigma o}$	Bezpečnost v ohybu [-]
$K_{\sigma T}$	Bezpečnost v krutu [-]
L_n	Životnost ložiska v otáčkách [mil.ot.]
L_h	Životnost ložiska v hodinách [hod]
R_o	Elektrický odpor [ohm]
R_t	Tepelný elektrický odpor [ohm]
α	Teplotní součinitel odporu [K ⁻¹]
Δt	Teplotní rozdíl [K ⁻¹]
I	Elektrický proud [A]
U	Elektrické napětí [V]
P	Výkon zdroje střídavého napětí [W]

ÚVOD

V posledních letech zažívá výrobní sektor řadu podstatných změn. Princip tovární výroby, kde poptávka převyšovala nabídku, podnik vyráběl omezený počet druhů výrobků a vyrábělo se především na sklad, již v současnosti není možný. Na přelomu století se totiž poměr otočil, nabídka začala převyšovat poptávku, což vyvolalo mezi podniky snahu o udržení své pozice na trhu [1].

Nejefektivnějším nástrojem, jak toho dosáhnout, je společné využití metod inovačního inženýrství a metod „štíhlé výroby“, které společně tvoří pevnou základnu pro moderní, prosperující podnik. Inovační inženýrství můžeme chápat jako interdisciplinární obor, jehož hlavním cílem je rychlá transformace myšlenek do současného produktu, procesu nebo i služby, uplatněných na trhu [2].

Obecně se dá říci, že klíčem k udržení konkurenceschopnosti podniku, jsou důležité tyto faktory: lidská kreativita, znalosti a dovednosti [2]. Proto, aby podnik obstál na poli moderního trhu, však není moudré využívat těchto metod jednotlivě. Je velice důležité, aby byly metody chápány jakou součástí všech procesů a byly využívány dohromady. A jako i výrobní procesy, tak i inovační procesy, je zapotřebí koordinovat a řídit je a tím dosáhnout ještě efektivnějších výsledků.

V historii byly inovace chápány spíše negativně, a to především pro větší konzervativnost tehdejší společnosti. V současné době jsou inovace brány jako to, co každý podnik odlišuje, to co dělá každý podnik jedinečným [3].

Samotné slovo inovace pochází z latinského slova „innovare“, které, ačkoliv se to může jevit trochu zvláště, neznamená závratnou novinku, ale znamená zlepšení [2]. A to ve smyslu zlepšení něčeho, co již existuje. Vzhledem k rozsahu inovačního procesu byla inovace definována do různých podob. Podle rakouského ekonoma J. A. Schumpetera byla inovace definována jako:

- zavedení nového výrobku nebo výrobku s novými vlastnostmi.
- zavedení nového výrobního procesu do výroby.
- zavedení nového druhu prodeje.

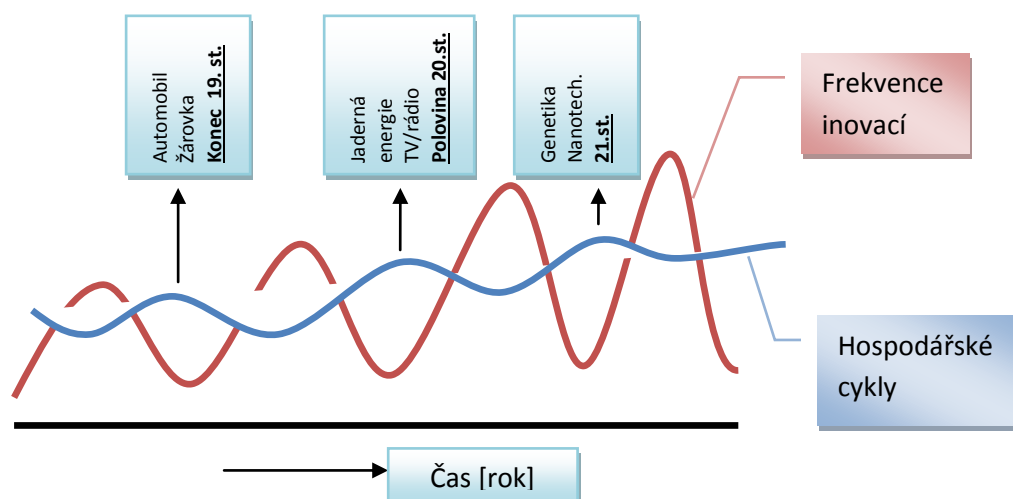
Podle evropské komise je správnou definicí inovace tato verze:

- obnovení a prodloužení sortimentu výrobků a služeb.

- zavedení nové metody ve výrobě či dodávce.
- zavedení změny v managementu, organizaci práce, pracovních podmínkách.

Ať už definujeme inovaci podle J. A. Schumpetera nebo podle evropské komise a nebo podle jiných, vždy musíme brát na zřetel to, že každá inovace je dílem člověka, jeho znalostí, dovedností a kreativity a vždy musí zákazníkovi nabídnout vyšší hodnotu, než jaká byla.

Mějme také na paměti význam inovací v historii. Inovace, jako proces, nejsou v čase konstantní. Neznamená to tedy, že lidstvo nachází nová řešení každý den. Inovace se pojí s frekvenční charakteristikou (obr. 1), která velmi připomíná průběh „sinusovky“. Označení pro tuto křivku je frekvence inovací [2] a pojí se dohromady s křivkou hospodářských cyklů. Dohromady pak poukazují na souvislost mezi technickým a hospodářským rozvojem.



Obr. 1: Technický a ekonomický rozvoj v souladu s inovační frekvencí

Zdroj: Vlastní, [2]

Cíle diplomové práce

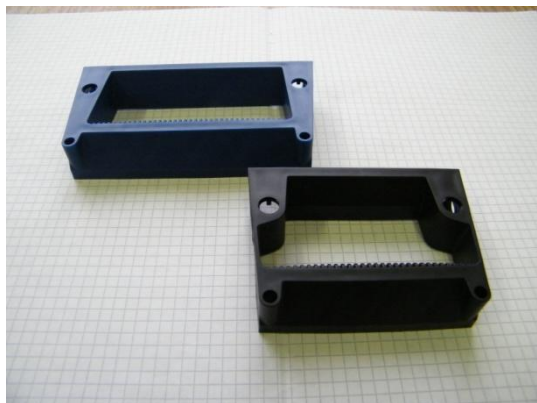
Cílem diplomové práce je návrh inovovaného zařízení na řezání plastových lanek. Pozornost bude zaměřena na podnik Ingserviss-Plast s. r. o., konkrétně na představení společnosti a jejího výrobního sortimentu – držáků autobaterií. Jedním z hlavních uzlů stroje je řezací aparát, který bude podroben průzkumu. Závěrem bude detailní znalost principu tavení (odporový ohřev), konstrukce, počtu součástí, výhod a nevýhod. Druhým uzlem práce je plastové splétané lanko, u kterého se definují jeho základní parametry – délka, tolerance délky, teplota tání, materiál. Poté přijde detailní průzkum trhu. Na závěr bude sepsána sumarizace v podobě inovačních příležitostí a inovačního záměru. Doposud zjištěná fakta povedou k návrhu pěti variant řešení (koncepty). Ke každému návrhu bude připojena skica, detailní popis principu a základních částí. Připsány budou i výhody a nevýhody. Dále práce postoupí na výběr finálního konceptu, kde se vybere nejvhodnější návrh. Vzhledem k tomu budou představeny všechny využívané metody, použitelné pro výběr konceptů – intuitivní výběr, externí posouzení, výběr osobní preference, analýza silných a slabých stránek, testování prototypu a rozhodovací matice. Po představení přijde na řadu výběr metod, dle nichž budou vybrány nejprve tři finální koncepty, poté vítězný finální koncept. Po výběrové fázi přijde detailní konstrukční návrh. Postupně se představí jednotlivé části konceptu - vstupní část, hnací ústrojí, řezné ústrojí, signalizační a ovládací část a bezpečnostní prvky. Stroj bude disponovat minimálně zdvojeným přívodem provázku skrze naváděcí zařízení. Hnací ústrojí bude realizováno opět minimálně dvojité. Umístění dvou beden polotovaru bude pod strojem. Hotové provázky budou sbírány do krabice. Bezpečnostní prvky stroje budou hlídat bezpečnost provozu – zamezí případné poranění obsluhy. Stroj nepřesáhne rozměry současného zařízení. Vše bude podpořeno výpočtovou částí. Ekonomické zhodnocení rozpracuje studii nárůstu zisku, cenovou náročnost stroje, zvýšení efektivity procesu.

Pro zhodnocení je nutné stanovit parametry, které se budou v závěru práce srovnávat: **čas cyklu** stroje bude **méně než 3,2 sec**, **délka provázku** bude **424 mm**, **tolerance** délky provázku nebude více jak $\pm 1 \text{ mm}$, teplota tavení bude nejméně o 30°C vyšší, než je teplota tání polypropylenu (160°C), **celková cena** zařízení **nepřesáhne částku 80000 Kč**, zařízení bude disponovat uceleným průhledným krytím, senzory otevření krytí, ovládací obrazovkou a kontrolním prvkem andon.

1. Seznámení s firmou INGSEVISS-PLAST s. r. o. a její produkcí

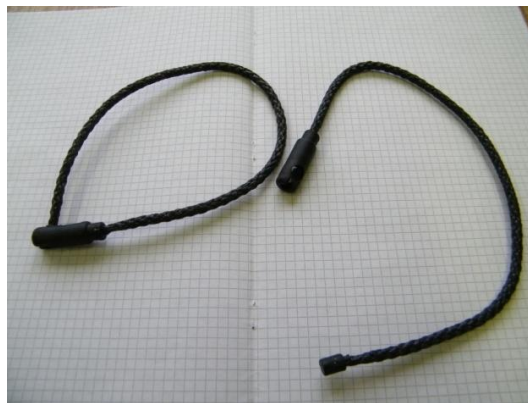
Podnik INGSEVISS-PLAST s. r. o. je strojírenský podnik zabývající se vstřikolísáním drobných součástek z plastu, zejména pro automobilový průmysl. Mezi nejvýznamnější zakázky patří výroba přivařovacích vík, držáků (obr. 2) a chráničů pólů autobaterií Varta. Mezi další produkty patří speciální držáky autobaterií pro nákladní vozy (obr. 3), které jsou sestaveny z plastových trubek a provázků, vstřikolísání elektrosoučástek pro společnost Siemens a odměrky pro potravinový průmysl, dodávané společnosti Fuchs.

Podnik INGSEVISS-PLAST s. r. o. vznikl v roce 1999, kdy dva společníci zakoupili výrobní prostory, strojní vybavení, a to v Oldřichově v Hájích. Zpočátku ve společnosti pracovalo jen sedm pracovníků a roční obrát se pohyboval okolo částky 4 milionů korun českých. Postupným rozvojem se firma rozšířila o další výrobní prostory, strojní vybavení a pracovní sílu. To vedlo k vyšší produktivitě a větší rozmanitosti výrobků, což mělo za následek zvýšení počtu zakázek. Dnes v podniku pracuje dvacet pět stálých zaměstnanců, objem výroby se ustálil na částce 55 milionů korun českých za rok.



Obr. 2: Držáky autobaterií Varta

Zdroj: Vlastní



Obr. 3: Držáky pro nákladní vozy

Zdroj: Vlastní

Poznámka: Diplomová práce je zaměřena na držáky autobaterií pro nákladní vozy (obr. 3), a to pouze na samotné plastové lanko. V následujícím textu bude lanko popisováno termíny jako polotovár, lano, provázek a další, vždy ale platí, že se jedná pouze o jedno a to samé plastové lanko, viz obrázek.

2. Analýza stávajícího stavu

Výroba plastových držáků autobaterií nákladních vozů ve společnosti Ingserviss - Plast s. r. o. započala na koci roku 2008. Zpočátku se jednalo o nárazovou práci, nepravidelnou a podle toho vypadal i celý výrobní proces, který nebyl žádným způsobem řízen a výroba byla značně neefektivní. K výrobě bylo zapotřebí jednoho pracovníka, který obsluhoval nejen proces řezání a zatavování plastového provázku, ale i práce s tímto procesem spojené. Celý proces začínal ve skladu, odkud pracovník přinesl bednu s polotovarem (30 kg splétaného plastového lanka vcelku), umístil ji pod pracovní stůl a začal obsluhovat jednoduchou řezačku, jejíž řezný plát (= planžeta) byl napojen na zdroj střídavého napětí a tím byla vyvolána teplota potřebná k přeříznutí a zatavení provázku (viz kapitola 2.2 Technická data polotovaru). Poté provázek odložil do předem připravené krabice a postup opakoval. V roce 2011 však poptávka po držácích vzrostla a tento způsob výroby přestal být vyhovující. Prvním způsobem jak výrobu zefektivnit bylo přidání krabice s polotovarem. Tak mohla obsluha vytahovat dva polotovary najednou. Druhým způsobem úpravy bylo zavedení koncového dorazu, který jasně definoval délku řezaného provázku a tím výrobu nejen zrychlil, ale i zpřesnil. Výsledná přesnost byla v souladu s tolerancí udanou zákazníkem, tedy $\pm 2,5$ mm. V současné době, kdy na trhu práce převládá nabídka nad poptávkou, je pro moderní společnosti velice důležité, aby se vyrovnali se skutečností, že se výroba orientuje na požadavky zákazníka. S tím jsou spojené i nejrůznější metody a postupy pro efektivnější výrobu. Jedním možným postupem je i inovace pracovního zařízení. Tato inovace by měla být chápána jako proces po sobě jdoucích analýz, sběr dat, hodnocení a metod pro vyšší efektivitu výroby, lepší variabilitu, konkurenceschopnost a tím i vyšší reputaci u zákazníka.

2.1 Současný řezací aparát

Stávající zařízení pro řezání polotovaru (obr. 4) se skládá z pracovního stolu, na kterém je upevněna základní konstrukce, jenž drží řezací planžetu. Planžeta je velmi tenký plech, připojený na zdroj střídavého elektrického napětí. Zdroj napětí není přímo „zásuvka“, je to měnič napětí, který transformuje napětí o hodnotě 230V na hodnotu 24V. Průchodem proudu planžetou vzniká teplo (odporový princip ohřevu), které na povrchu planžety vytváří zhruba 200°C. Pro napnutí planžety je základní rám posazen

na dvou čepech a opatřen dvěma pružinami, na každé straně jednou. Tím je zaručeno, že i za předpokladu tepelné roztažnosti materiálu planžety zůstane planžeta vždy napnutá.



Obr. 4: Stávající zařízení pro řezání

Zdroj: Vlastní

2.2 Technická data polotovaru a řezného aparátu

Provázek je spletený celek, složený z jednotlivých malých polypropylenových vláken a jeho detailní rozbor bude představen v následující tabulce.

Tab. č. 1: Technická data polotovaru

Technická data polotovaru	
Materiál provázku	Polypropylen
Průměr provázku [mm]	5
Teplota tání [°C]	160
Délka [mm]	424
Tolerance délky [mm]	± 2,5

Tab. č. 2: Technická data aparátu

Technická data stávajícího řezného aparátu	
Napětí měniče [V]	24
Proud měniče [A]	12,8
Teplota řezání [°C]	200
Rozměry planžety [mm]	40 x 4 x 0,8
Produkce [Ks/min]	20

Tab. č. 1 udává charakteristiky přesně specifikované zákazníkem. Tab. č. 2 jsou pak hodnoty, které nejsou dány přesnou specifikací a ve firmě jsou dány zkušenostmi.

Současný řezný aparát tedy není zařízení, které je zkonstruováno na základě výpočtů, analýz a jiných nástrojů, ale na základě „odzkoušení“. Poslední položka je pak produkce, kterou bylo zapotřebí stanovit jako jeden z ukazatelů výkonnosti procesu. Základem bylo měření 3 x 3, ze kterého byla stanovena produkce (tab. č. 3).

Pozn.: Měření 3 x 3 znamená, že se uskuteční celkem tři kola měření. V každém kole se provedou tři jednotlivá dílčí měření.

Tab. č. 3: Měření produktivity

1. kolo měření		2. kolo měření		3. kolo měření	
Číslo měření	Počet Ks / min	Číslo měření	Počet Ks / min	Číslo měření	Počet Ks / min
1.1	21	1.2	20	1.3	19
2.1	19	2.2	20	2.3	20
3.1	19	3.2	19	3.3	19

Celková produktivita P je dána aritmetickým součtem jednotlivých dílčích produktivit, tedy:

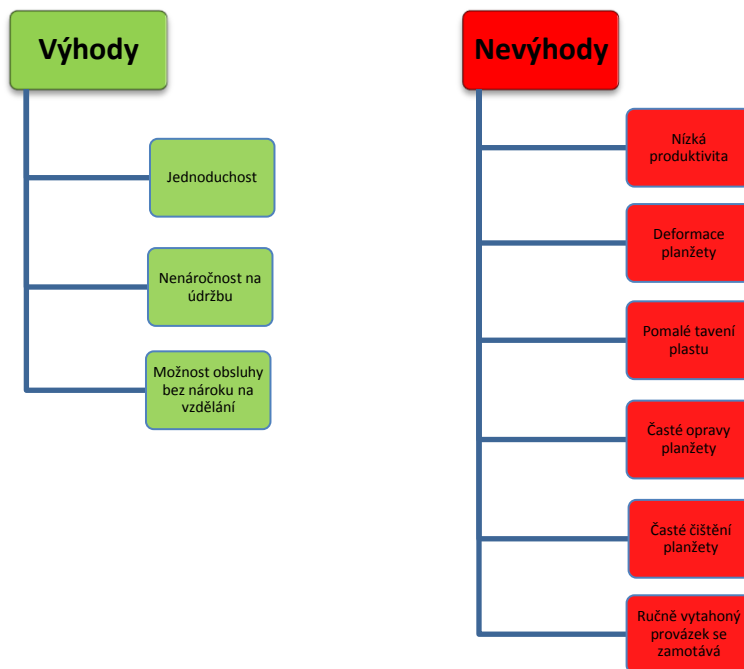
$$P = \frac{1.1+2.1+3.1+1.2+2.2+3.2+1.3+2.3+3.3}{n} \quad (1)$$

$$P = \frac{21 + 19 + 19 + 20 + 20 + 19 + 19 + 20 + 19}{9}$$

$$P = 19,555 \text{ [Ks/min]}$$

Výsledná produktivita na současném zařízení je 19,555 Ks / min

2.3 Výhody, nevýhody



Obr. č. 5: Výhody a nevýhody současného řezacího aparátu

Zdroj: Vlastní

Jednoduchost stávajícího zařízení je z hlediska provozu výhodou. Samotné zařízení je složeno z malého počtu součástí (odkládací zásobník, doraz, napínací pružina, ramena planžety, planžeta, zdroj střídavého napětí) a z hlediska náročnosti oprav je zařízení vhodné. Mezi přední nevýhody patří fakt, že je zařízení ovládáno lidskou silou, což má i své mínusy. Práce na zařízení je monotematická, nenáročná a operátor často ztrácí pozornost. To má především vliv na produktivitu práce, která není konstantní (je tedy odvislá od pozornosti operátora). Vzhledem k nevhodně zvolenému materiálu planžety a i konstrukci planžety samotné, často dochází k náhlým změnám teploty řezání a tím se proces tavení stává nerovnoměrným. Tím dochází k znečišťování planžety zbytky roztaveného plastu a je tedy zapotřebí planžetu často čistit (opětovný vliv na produktivitu práce). Aby manipulátor dohnal případné ztráty, vytahuje polotovary z připravených beden rychleji, než obvykle, což vede k občasnému zamotání provázku. Rozmotání není náročné, ale opět má vliv na samotnou produktivitu. Vzhledem k počtu výhod a počtu nevýhod lze říci, že nevýhody současného řešení vysoce převyšují klady a je velice vhodné zde uplatnit znalosti inovačního inženýrství.

3. Seznam příležitostí

Samotné plánování dané inovace vždy začíná prozkoumáním všech možných odvětví a daných problematik, které by umožnily vnesení efektivnějších a kreativnějších podnětů do řešení inovace. V praxi to tedy znamená, že se shánějí nejrůznější podklady, které by mohly být využity v nadcházejícím projektu. Obecně platí, že se inovační příležitosti zakládají buď na nové výrobní platformě, na derivátu platformy, na dílčím zlepšení existujícího výrobku nebo na úplně novém produktu [2].

Je důležité, aby se v této fázi nevynechalo nic, co by mělo za následky neúspěch. Je tedy podstatné nejen využít znalostí a najít něco, co by vyhovovalo, je zapotřebí spolupracovat se zákazníky, analyzovat jejich názory, analyzovat reklamace. Je skoro nezbytně nutné sesbírat názory z dotazníků, prostudovat konkurenci v dané problematice a výsledky pečlivě vyhodnotit [2].

Vzhledem k tomu, že zařízení na řezání plastových lanek nebude komerčně vyráběný stroj a jeho zákazníkem bude pouze majitel společnosti, nelze shromáždit informace o stavu reklamací, nelze provést sběr názorů veřejnosti z dotazníků. Jediným možným sběrem informací je prozkoumání trhu s řeznými aparáty, s nejrůznějšími formami tavení materiálů apod.

3.1 Průzkum trhu

Po důkladném prověření možností skrývajících se na poli internetu a prodejců specializovaných v dané problematice, byly vyhodnoceny jako důležité následující podněty:

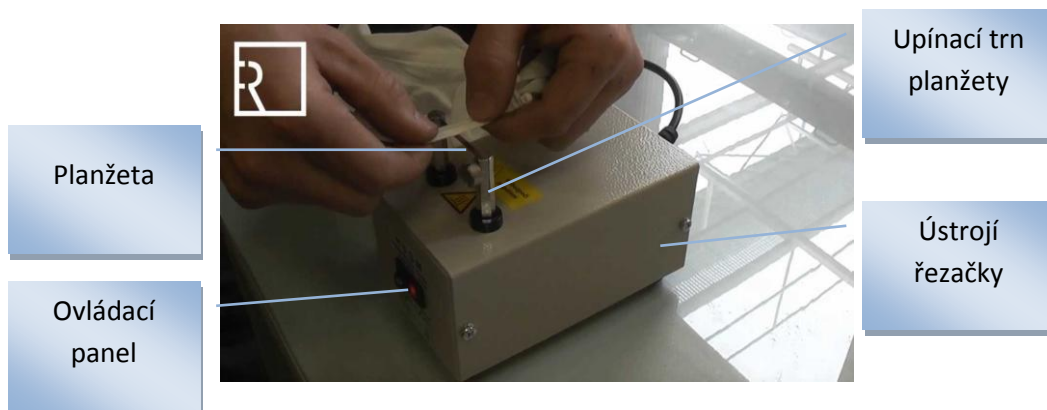


Obr. č. 6: Možnosti tavného řezání

Zdroj: Vlastní

3.2 Stacionární řezačka

Stacionární řezačka (obr. 7) je aparát, který disponuje schopností přerušit plastový polotovar s následným zatavením. V praxi se nejčastěji jedná o celistvý přístroj, v němž je zabudován měnič napětí (nejčastěji 24V). Z těla řezačky vystupují dva trny, mezi nimi je pak napnuta planžeta.



Obr. č. 7: Stacionární řezačka

Zdroj: [www.youtube.com / stacionární řezačka](http://www.youtube.com/stacionární_řezačka)

Mezi *výhody* stacionární řezačky patří jednoduchost, cenová dostupnost, snadná údržba i obsluha. Již na první pohled je jasné, že se jedná o stejný princip, jaký je současně používán, tudíž i jeho *výhody* jsou stejné.

Mezi *nevýhody* patří především fakt, že na tomto principu je výroba v současné době již realizována a tudíž realizací inovace na tomto principu by se do budoucího stavu nevnesla vyšší hodnota pro majitele a tím by se porušilo pravidlo inovace, kdy inovovaný objekt má vyšší hodnotu, než objekt původní. Podobně jako u současného řešení by byla planžeta zanášena nečistotami a deformovala by se vlivem tepla (nevýhody opět viz kapitola 2.3 Výhody, nevýhody).

3.3 Řezání laserem

Laser (z anglického **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation) je zařízení, které produkuje elektromagnetické záření. Jedná se o optický zdroj, z něž záření vychází v podobě tenkého svazku světla. Celé zařízení je obvykle tvořeno zdrojem energie, rezonátorem a aktivním prostředím [4].

Jako zdroj energie se velmi často využívá výbojka, jejíž ústrojí je naplněno aktivním prostředím – aktivní plyn, monokrystal, polovodič s PN přechodem a další. Mezi nejčastěji užívané jsou aktivní plyny CO_2 .

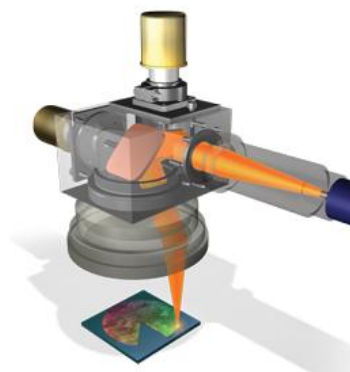
Rezonátor je obvykle tvořen dvěma zrcadly, z nichž jedno je propustné a druhé odrazivé. Propustné pouští tenký svazek světla z výbojky ven, odrazivé nepouští nic, jen odráží a směřuje z výbojky ven. Častokrát se můžeme setkat i s řešením, kdy zrcadla nejsou rovinná, ale křivková. Pod pojmem křivková si můžeme představit jakési prohnutí, které je obvykle dvojího typu – konvexní nebo konkávní. Stabilita záření pak závisí na poloměrech křivosti těchto zrcadel a celkové délce rezonátoru [4].

V současné době se začala prosazovat metoda 3D laserového řezání, která se využívá u robotických strojů. Vzhledem k náročnosti na vedení světelného toku je paprsek, vyzařovaný zdrojem a usměrněný rezonátorem dále veden systémem optických kabelů. Speciální metoda 3D laserového řezání se označuje jako Remote cutting. Jedná se o skenovací hlavici, která je vybavena expandérem pro nastavení optimální ostrosti řezu [4].



Obr. č. 8: Řezání laserem

Zdroj: www.primapower.com



Obr. č. 9: Remote cutting

Zdroj: www.industrial-lasers.com

Mezi *výhody* využití řezání laseru / 3D laseru je rychlost. Obvykle se jedná o zařízení, která jsou konstruována pro profesionální průmyslové využití, tudíž rychlosti a přesnosti řezání jsou na špičkové úrovni.

Nevýhody jsou jednoznačně dostupnost zařízení, jeho cena i složitost. Je jasné, že proces řezání uskutečněný tímto zařízením by patřil k nejefektivnějším vůbec, ale vzhledem k charakteru výroby lanek se jedná o zbytečný prvek, jehož návratnost by byla neúměrně dlouhá.

3.4 Řezání plamenem

Metoda vhodná především pro kovové materiály s vyšší tloušťkou v místě řezu. Podmínkou pro tento druh tepelného dělení materiálu je schopnost taveného materiálu hořet v kyslíkovém proudu, což polypropylenový provázek splňuje. K samotnému procesu řezání se využívají řezací hořáky, které, než se obrobek přehřeje, slouží k přivodu kyslíku na přehřáté místo a tím dojde k hoření a následnému spálení materiálu.

Mezi *výhody* patří jednoduchost soustavy pro řezání, cenová dostupnost lahví s kyslíkem a rychlost řezání. *Nevýhody* pak opět nedovolí dalšímu uvažování tohoto principu, neboť k řezání je zapotřebí konstantního plamene. Při dělení provázků by byl plamen více jak z poloviny času nevyužit a tudíž by celý proces nebyl efektivní a docházelo by k značným ztrátám. Možnost, jak metodu využít, by bylo zhášení plamenu v čase, kdy nedochází k řezání. Tím by se proces zefektivnil, nedocházelo by ke zbytečnému plýtvání. Nutno dodat, že zhášení by byl značný problém na řešení, zvýšil by složitost celého stroje, a proto nebude metoda dále rozvíjena.

3.5 Řezání plasmovým hořákem

Plasma je plyn, který je složený z elektronů a iontů a vzniká buď odtržením elektronů z jejich elektronového obalu, nebo roztržením molekul. V současné době je plasma považována za další skupenství hmoty, v pořadí tedy za čtvrté. Plasmu lze rozdělit, a to podle stupně ionizace na slabě ionizovanou a na silně ionizovanou. Rozdílem mezi nimi je pouze v počtu nabitých částic plynu. Koncentrace nabitých částic v slabě ionizované plasmě je zanedbatelná, v silně ionizované se jedná o největší podíl všech částic. Další dělení je dle teploty, a to na vysokoteplotní a nízkoteplotní plasmu. Vysokoteplotní je charakterizována střední energií nabitých částic vyšších než 100 eV (zhruba 10^6 K). Nízkoteplotní plasma je pak ta, která má tuto hodnotu nižší. Obvykle se využívá v zářivkách nebo výbojkách [6].

Výhody použití plasmového řezání jsou podobné, jako jsou výhody u řezání za pomoci laseru. Jedná se o metodu rychlého a přesného řezu, jejíž cenová dostupnost a složitost celého ústrojí a zařízení by nebyla pro daný případ vhodná. Proto metoda pro další použití nebude uvažována.

3.6 Tavné řezání (tepelný nůž, odporový drát)

Tavné řezání je velice vhodná metoda dělení materiálu, především používaná u syntetických tkanin, kde je zapotřebí konec zatavit. Z tohoto hlediska se jedná o velice zajímavou metodu, která je založena na principu ohřevu struny nebo řezného pravítka (často označováno jako planžeta, tepelný nůž, tavící lišta apod.). V obou případech se jedná o jeden a ten samý princip, tedy o princip odporového ohřevu. Řezná pravítka bývají zpravidla vyhřívána tzv. odporovými patronami, což jsou válečky, vyrobené z vysoce tepelně vodivého materiálu, osazené koncovkou a napojené na zdroj střídavého napětí. Přestupem tepla z patrony je pak pravítko vyhříváno. Odporové dráty se obvykle vypínají pomocí jednoduchého mechanismu a konce drátu se buď jednoduše zauzlují a napojí na zdroj napětí, nebo se opatří koncovkami, které se na drát nalisují. Tyto koncovky jsou pak na zdroj napojeny pomocí konektorů.

Samotný princip je založen na Ohmovu zákonu, což je vztah mezi napětím, proudem a elektrickým odporem. Jeho přesné znění poukazuje na elektrický proud, jenž je v elektricky vodivém materiálu / prostředí přímo úměrný napětí tohoto materiálu / prostředí. Je nutné brát v potaz i fakt, že s rostoucí teplotou se mění hodnota odporu vodiče.



Obr. č. 10: Odporová drátová řezačka

Zdroj: www.forum.tzb-info.cz

Mezi *výhody* tavného řezání, ať už za pomoci tepelného nože či odporového drátu, patří vždy jednoduchost zařízení, snadné dosažení vysoké teploty řezání, cenová dostupnost náhradních dílů a jednoduchá manipulace. *Nevýhody* jsou potřeba lepšího externího zdroje napětí, které umožní regulaci průchodu elektrického proudu.

3.7 Inovační příležitosti

Vzhledem k detailnímu průzkumu trhu a vzhledem k představeným možnostem tepelného řezání byla pozornost zaměřena na tavné řezání. Ostatní metody využít lze, obecně ale platí, že jsou méně cenově dostupné a zbytečně by zvyšovaly složitost celého budoucího zařízení.

Z předchozího textu je tedy zřejmé, že další postup bude vždy řešen s využitím tavného řezání. Otázkou však zůstává, jak dostat polotovar z bedny až k řeznému ústrojí a jak navrhnout řezné ústrojí tak, aby samostatně pracovalo společně s pohonem. Tento problém bude řešen individuálně pro každý navržený koncept a bude představen společně s celkovým návrhem.

Vzhledem k tomu, že stávající řezný aparát nevyhovuje, bude pozornost zaměřena na inovaci nového výrobku. To znamená, že se pro další postup přestane uvažovat inovace současného zařízení, na řadu přijde tvorba výrobku dramaticky odlišného, neboli výrobku nového. Vzhledem k složitosti úkolu je zapotřebí definovat inovační záměr. Ten vychází z předchozích studií trhu, jeho možností a příležitostí.

3.8 Inovační záměr

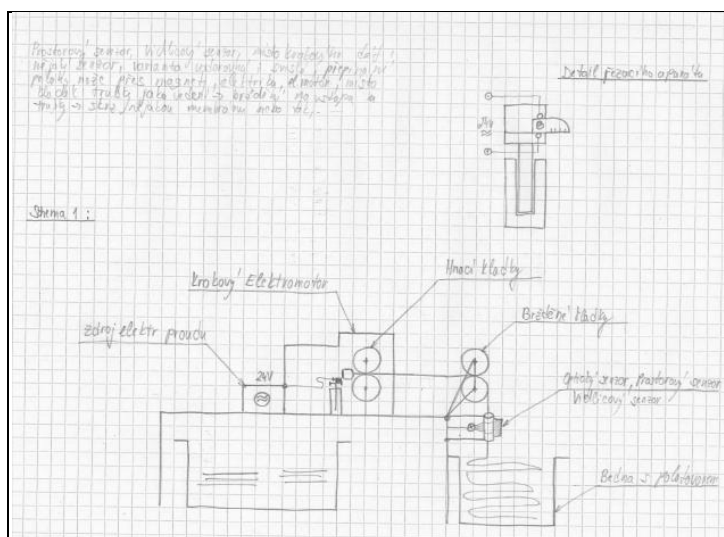
Inovačním záměrem je zkonstruování automatického řezacího aparátu pro průmyslové využití. Zařízení bude disponovat funkcí samostatného podávání polotovaru do řezného ústrojí, funkcí přetavení a odměření polotovaru. Zařízení bude dále disponovat vstupním zařízením, které polotovar přesně navede do řezné části a krytou výstupní oblastí pro sběr hotových výrobků. Celé zařízení bude doplněno o bezpečnostní a informační prvky, v souladu s moderními trendy (senzory přítomnosti, ovládací LCD dotykový monitor, andon, elektrická rozvodná skříň a další).

4. Návrh pěti konceptů, jejich představení a zhodnocení

V této kapitole budou představeny jednotlivé návrhy, které byly sestaveny na základě předchozích zkoumání, vlastních znalostí a průzkumu situace vývoje jednoúčelových strojů. Základem každého řešení bude celistvá klec, ve které bude umístěn řezací aparát. Bedna s polotovarem bude vždy umístěna v nejbližším okolí pracovního klece, nejčastěji hned vedle stroje nebo pod ním. Varianty budou obsahovat vedení polotovaru z bedny do řezacího aparátu, přičemž každá varianta bude uvažovat vedení přes systém kontroly, jenž by zamezil vstupu nechtěných jevů do procesu řezání. Jedná se o problém uzlů, které se mohou během vytahování lanka z bedny objevit. Principem této kontroly je zastavení výroby v případě výskytu uzlíku s následným upozorněním obsluhy (zvukový signál, světelný signál,...). Samotné řezání bude řešeno na základě principu tavného řezání (viz kapitola 3.7 Inovační příležitosti). Hotové výrobky budou odpadávat do předem připravené bedny. Zde se nabízí možnost využití systému počítání padlých kusů, jenž by velice usnadnil následné přepočítávání výrobků.

4.1 Koncept č. 1

Představení prvního konceptu:



Obr. č. 11: Schéma prvního konceptu

Zdroj: Vlastní

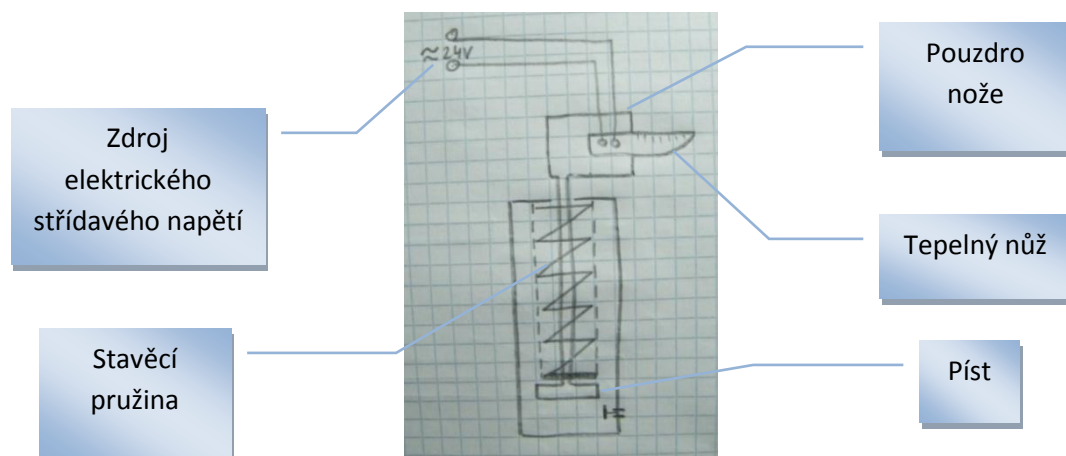
Základem celého konceptu je pracovní stůl. Vedle stolu, na zemi, stojí krabice s polotovarem, pod stolem pak leží krabice, do které budou padat hotové výrobky. Celé

výrobní zařízení je poháněno krokovým elektromotorem, který na principu automatického zastavení, po odtočení určitého počtu otáček, odvine požadovanou délku polotovaru. Vedení polotovaru je realizováno přes kontrolní tubu, která bude detekovat přítomnost uzlů a jiných nežádoucích faktorů (deformace polotovaru, ...).

Principem této kontrolní tuby budou dva optické senzory, které budou nastaveny tak, aby snímali prostor vedle polotovaru. Pakliže se do tohoto prostoru dostane uzlík, senzor zaznamená, že se v kontrolním prostoru vyskytuje nepatřičný element, zastaví a automaticky upozorní obsluhu na vadu polotovaru.

Z kontrolní tuby bude polotovar veden do kladek, které budou brzděny. Brzdění zde bude proto, aby polotovar přicházel do krokoměru napnutý a nedocházelo k vypadnutí lanka z hnacích kladek. Brzdění zde bude realizováno v uložení kladek, kde vlivem tření dvou různých materiálů (kov-plast) bude docházet k vyššímu tření a tím odporu proti rotaci kladky.

Hnací kladky krokového elektromotoru budou nastaveny tak, aby měl polotovar, po odtočení kladek, požadovanou délku. Ihned po tom, co bude dokončeno odvíjení, bude zapnuto samotné řezací ústrojí (obr. č. 11). To bude složeno z pneumatického pístu, pružiny a tepelného nože. Pružina bude zajišťovat nůž v dolní krajní poloze. V momentě, kdy dostane pneumatický obvod signál, bude vlivem média (vzduch) síla pružiny překonána a píst se přesune do horní krajní polohy. Tepelný nůž bude napájen z elektrického zdroje střídavého napětí, konkrétně zdroje o hodnotě 24V (ze zkušeností tavení u současného aparátu).

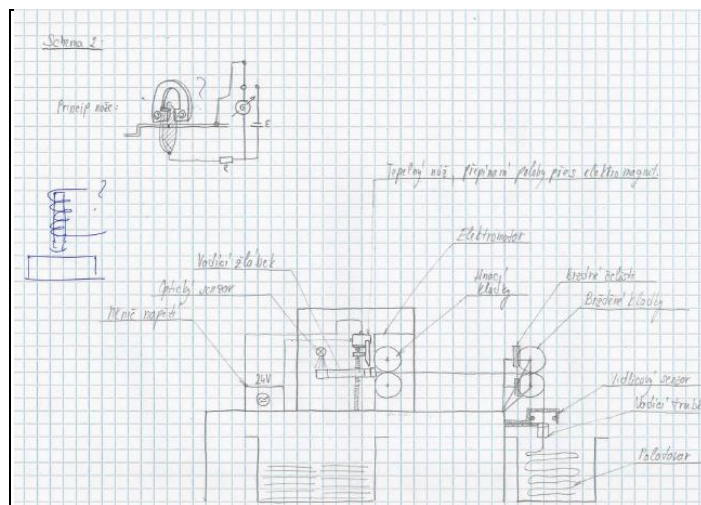


Obr. č. 12: Navrhované řezné ústrojí

Zdroj: Vlastní

4.2 Koncept č. 2

Představení druhého konceptu:



Obr. č. 13: Schéma druhého konceptu

Zdroj: Vlastní

Stejně jako u předchozího návrhu, tak i zde je základ tvořen pracovním stolem, vedle kterého je položena krabice s polotovarem. Pod stolem je pak nádoba pro sběr hotových lanek. Vedení polotovaru je zde řešeno pomocí brzděných kladek, které pracují na stejném principu jako u předchozího konceptu (princip brzdění realizován přes uložení kladky hřídele a náboje kladky). Před kladkou bude prvek kontroly – vodící trubka a senzor na přítomnost uzlů. Senzor bude laserový a bude si hlídat prostor před sebou. Pakliže se do tohoto prostoru dostane nepatřičný prvek, senzor vydá povel k zastavení výroby.

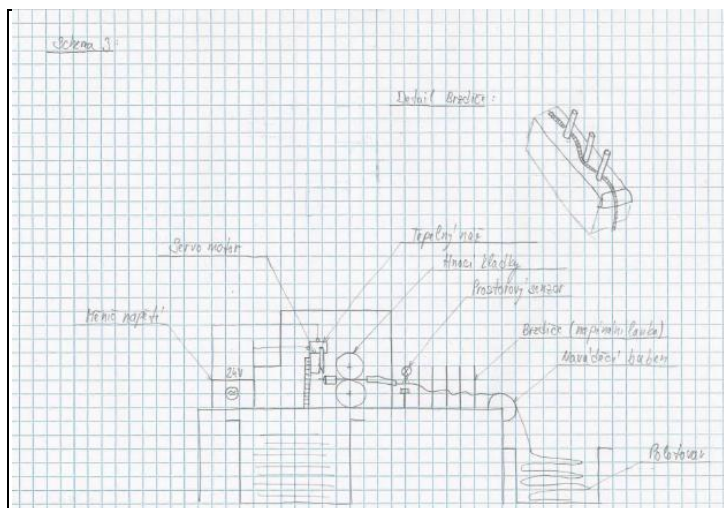
Dalším prvek stroje je elektromotor, na kterém budou hnací kladky. Ty zaručí posuv polotovaru. Za kladkami bude vodící žlábek / trubička, do kterého bude polotovary automaticky směřován a ve kterém se bude pohybovat. Na konci této dráhy (žlábek / trubička) bude optický senzor, který bude detekovat přítomnost polotovaru. Jakmile se do hlídaného prostoru dostane provázek, pohyb bude zastaven (zastavení elektromotoru) a bude vyslán pokyn pro řezání.

Řezání je u tohoto konceptu opět realizováno na principu tepelného nože. Princip je popsán v předchozím konceptu. Posuv nože je však v tomto případě rozdílný a je založen na principu elektromagnetického přepínání. Nůž, z počáteční (vrchní)

poloze, bude polohován vlivem přepínání polaritu. To znamená, že změnou polaritu bude držák v horní poloze odpuzován a zároveň v dolní poloze přitahován. Po opětovném přepólování se tento efekt obrátí a nůž se vrátí do základní polohy.

4.3 Koncept č. 3

Představení třetího konceptu:



Obr. č. 14: Schéma třetího konceptu

Zdroj: Vlastní

Stůl, bedna s polotovarem a i bedna s hotovými výrobky jsou opět realizovány stejně, jako u předchozích dvou konceptů. Rozdílné je vedení polotovaru, které již není realizováno systémem brzděných kladek. Přes naváděcí bubnu, jehož jedinou funkcí je, aby nebyl polotovar deformován při styku s hranou stolu, se lanko vede dále do soustavy kolíků, mezi kterými je lanko vpleteno. Třením mezi kolíky a provázkem vznikne dostatečně vysoké tření k tomu, aby bylo lanko brzděno stejně účinně, jako u kladkového provedení.

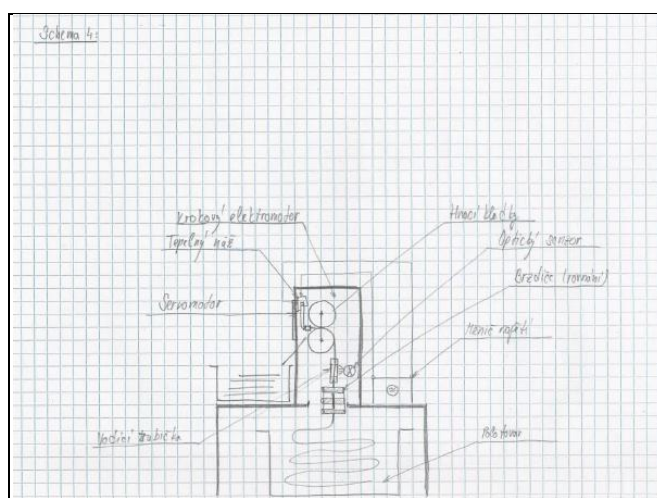
Z kolíků bude lanko navedeno do kontrolní trubky, která již nebude detekovat uzle (pomocí senzorů). Její hlavní funkcí bude nejen správně navést lanko do hnacího ústrojí, bude to ale i prvek, o který se případný uzel zastaví. Princip detekce bude přenechán hnacímu prvku – elektromotoru. Princip bude představen v následujícím odstavci.

Hnacím prvkem celé soustavy bude opět krokový elektromotor, který bude opatřen vlastní řídicí jednotkou. Vzhledem k tomu se bude jednat o samořízený systém,

který změnou odporu prostředí pozná, zdali se provázek odvíjí anebo zdali se kladka elektromotoru točí „naprázdno“. Vzhledem k tomu bude řídicí jednotka posílat data do kontrolního systému soustavy, která signalizací ukáže na aktuální stav výroby. Za hnací jednotkou bude provázek naveden do vodící trubky, na jejímž konci bude řezací aparát. Řezání je opět řešeno za pomoci tepelného nože a posuv je umožněn přes servomotor. Ten bude s nožem (i jeho držákem), pohybovat po předem určené trajektorii.

4.4 Koncept č. 4

Představení čtvrtého konceptu:



Obr. č. 15: Schéma čtvrtého konceptu

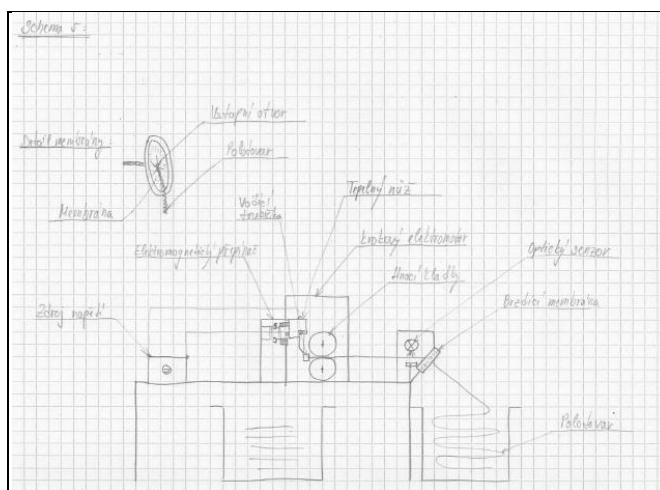
Zdroj: Vlastní

Na rozdíl od předchozích verzí je tento model realizován ve „vertikálním“ směru. Výhodou takového uspořádání bude úspora místa a zkrácení přívodní dráhy plastového provázku. Bedna s polotovarem bude umístěna pod pracovním stolem, kde bude polotovary veden rovnou do brzdících kolíků (viz předchozí koncept). Následovat bude kontrolní tuba, skrze kterou povede polotovary. Na okraje tuby se zaměří optické snímače, které opět ohodnotí prostor před sebou. Když do snímaného prostoru přijde uzel, vydají signál k zastavení výroby.

Pohon polotovaru opět realizován přes krokový elektromotor a pohon tepelného nože, jenž bude řezat a zároveň lanko tavit, bude umožněn přes vřetenový servomotor.

Výhodou vřetenového elektromotoru spočívá v tom, že není zapotřebí
přídavného mechanismu, který by držák s nožem polohoval. Vše by bylo realizováno
jediným zařízením.

Představení pátého konceptu:



Zdroj: Vlastní

Krokový elektromotor požene lanko k řezacímu aparátu (opět tepelný nůž), které je řešeno pomocí elektromagnetického přepínače. S tímto aparátem bude spojena i vodící trubka, která bude mít za úkol následné vedení provázku a i vytvoření opěrného místa pro řez.

4.6 Zhodnocení konceptů

Vzhledem k faktu, že jakékoliv pneumatické prvky, které se mají hýbat po předem určené trajektorii, je složité usměrňovat v jejich pohybu, není proto výhodné tyto prvky využívat. Jejich výhody jsou nízká cena a jednoduchost (pozor na fakt, že i přes nízké ceny pneumatických komponent je vzduch - jako médium - jedno z nejdražších). Naproti tomu jsou v konceptech užity prvky poháněné elektrickou energií (např. elektrický krokový motor, servomotor a další), které jsou dnes na špičkové úrovni a jsou většinou řízeny vlastním řídicím systémem. Je tedy snadnější, než u prvků pneumatických, řídit jejich chod. Jakékoliv vedení provázku sestavené z kladek, je vždy jednoduché, často se ale s vedením provázku řeší problém brzdění kladek. Vzhledem k momentům setrvačnosti rozpohybovaného lanka by se pak mohlo stát, že se lanko dostane mimo vedení a tím se celý proces řezání zastaví. Z tohoto hlediska je možné využít další prvky, které by tento problém eliminovaly. Jedná se o vstupní membrány, které by provázek směřovaly. Nejednalo by se o žádnou hybnou součást, tudíž by zde nebyl ani žádný moment setrvačnosti a nedocházelo by k těmto nežádoucím jevům. Nutno dodat, že i přes jejich výhody se nejedná o standardní řešení vedení provázku, tedy není jisté, že by bylo vedení korektní (vliv tření materiálu membrány a provázku, životnost membrány, deformace provázku). Vedení skrze kolíky se jeví jako velice jednoduché, opět se zde nabízí otázka tření.

5. Výběr finálního konceptu a jeho prezentace

Výběr konceptu je obecně velice důležitý proces, který je nutno pečlivě sledovat a řídit. Důvodem je správný výběr. Jednoduše řečeno – nesmí se stát případ, aby byl zvolen nesprávný návrh. V této části práce se jednotlivé koncepty mezi sebou porovnávají - srovnávají se jednotlivé parametry, charakteristiky. K tomuto účelu se využívá řada metod:



Obr. č. 17: Metody výběru konceptu

Zdroj: Vlastní, [2]

Pro další rozhodování budou vybrány celkem dvě metody, a to metody výběru pomocí rozhodovací matice a metoda intuitivního výběru. Dle metody rozhodovací matice se každý koncept se ohodnotí dle předem stanovených kritérií, které mohou mít různé váhy. Z celé řady konceptů dostaneme úzký výběr „favoritů“, na které aplikujeme rozhodovací matici pro detailní hodnocení a pomocí ní dostaneme finální koncept.

Obvykle je tato část projektu zpracovávána v týmu odborných pracovníků a specialistů, kteří mohou využít libovolnou metodu. Tento projekt je ale zpracován jednou osobou, tudíž některé metody užít nelze (testování prototypů, výběr osobních preferencí členů týmu).

Intuitivní výběr a rozhodovací matice jsou spojeny do jedné operace. Nejprve byla sestavena základní tabulka, kde byly sepsány základní charakteristiky pro výběr. Následně byly (intuitivní výběr) koncepty ohodnoceny příslušnými značkami a seřazeny do pořadí. Skóre je pak součet kladných zelených značek, od kterého se odečte součet červených záporných značek.

Tab. č. 4: Rozhodovací matice konceptů

Rozhodovací matice pro navržené koncepty					
Kritérium	Koncept 1	Koncept 2	Koncept 3	Koncept 4	Koncept 5
Hmotnost [Kg]	0	0	0	+	0
Výška [mm]	+	+	+	-	+
Šířka [mm]	+	+	+	+	+
Délka [mm]	-	-	-	+	-
Technická (časová) náročnost sestavení [min]	0	0	+	+	+
Technická náročnost obsluhy [min]	0	-	-	-	-
Trvanlivost [hod]	+	+	+	-	+
Odolnost vůči deformacím	-	-	+	+	-
Přesnost výroby	-	+	+	+	-
Přidaná vlastnost	+	+	+	+	+
Mobilita	-	-	-	-	+
Skóre	0	1	4	3	2
Celkové pořadí	5	4	1	2	3

Význam značek z matice:

+ Kladné hodnocení 0 Negativní hodnocení
 - Záporné hodnocení

Pozn.: Znaménko „+“ znamená kladné hodnocení a je bráno jako plusový bod. Znaménko „-“ je bráno jako záporné hodnocení a znamená minusový bod. Znaménko „0“ je negativ a není do celkového součtu počítán. Výsledek matice je dán součtem všech kladných a záporných znamének. Výsledkem tohoto součtu je „Skóre“, kde je přehledně vidět, který koncept má nejvyšší hodnocení. Dle „Skóre“ je určeno finální pořadí konceptů. Právě provedená rozhodovací matice je tzv. hrubá, z ní budou vybráni tři finalisti, kteří budou připuštěni do dalšího kola rozhodování.

Tab. č. 5: Jemná rozhodovací matice

Jemná rozhodovací matice							
Kritérium	Koncepty	3		4		5	
	Váha	Hodnota	V. hodn.	Hodnota	V. hodn.	Hodnota	V. hodn.
Hmotnost [kg]	10%	2	0,2	2	0,2	2	0,2
Výška [mm]	15%	4	0,6	2	0,3	4	0,6
Šířka [mm]	5%	2	0,1	2	0,1	2	0,1
Délka [mm]	10%	3	0,3	4	0,4	3	0,3
Technická (časová) náročnost sestavení [min]	15%	3	0,45	3	0,45	3	0,45
Technická náročnost obsluhy [min]	15%	5	0,75	3	0,45	4	0,6
Trvanlivost [hod]	5%	2	0,1	2	0,1	2	0,1
Odolnost vůči deformacím	5%	2	0,1	3	0,15	2	0,1
Přesnost výroby	10%	5	0,5	4	0,4	4	0,4
Přidaná vlastnost	5%	5	0,25	5	0,25	5	0,25
Mobilita	5%	1	0,05	1	0,05	1	0,05
Skóre		3,4		2,85		3,15	
Pořadí		1		3		2	

Dalším postupem výběru konceptu je sestavení jemné rozhodovací matice (tab. č. 5), kde byly k jednotlivým charakteristikám přiřazeny procentuální váhy, které udávají důležitost parametru při procesu rozhodování. Vážená hodnota pak byla sepsána na základě intuice autora. Z jemné rozhodovací matice je jasné, že vítězný koncept je návrh číslo 3.

Koncept č. 3 byl detailně zkontrolován s vedoucím diplomové práce, panem prof. Ing. Ladislavem Ševčíkem, CSc., kde vzhledem k neodzkoušenému systému podávání provázku do řezného ústrojí nebude uvažována kolíková trať, ale válečková (viz koncept č. 1). Zbylé návrhy zůstanou ponechány a detailně se rozpracují v další kapitole.

Kritéria byla zvolena na základě celkového zkoumání navrhovaného stroje. U každého stroje jsou vždy důležité jeho rozměry, neboť v každé firmě je jedním z nepříjemných faktorů nedostatek výrobních prostorů. Časová náročnost na sestavení navrhovaného stroje je kritérium, které poukazuje na složitost celé sestavy. V podstatě není až tak důležité, jestli se stroj bude stavět hodinu či den. Pokud bude tento čas nízký, bude značit jednoduchost soustavy. To samé platí i pro kritérium náročnosti obsluhy, kdy je pozornost zaměřena na seřizovací práce apod. Trvanlivost je jedním z důležitých faktorů, neboť se v návrhu jedná o celý stroj, na který bude kladen požadavek dlouhodobé spolehlivosti a bezporuchovosti. To souvisí s dalšími kritérii, které jsou odolnost vůči deformacím a přesnost výroby. Často se stává, že vzhledem k nedostatečné pozornosti dojde ke kolizím se strojem. Snahou bude tedy sestavit takový návrh, který bude těmto požadavkům nejvíce vyhovovat.

Pozn.: Obvykle se v inovačních pracích objevují matice QFD (HoQ) a další. Vzhledem k faktu, že je práce zaměřená na stavbu úplně nového, razantně odlišného zařízení, než jaké bylo používáno doposud, není možné využít těchto inovačních nástrojů. K jejich správnému provedení je klíčový faktor znalost požadavků zákazníků. Pro navrhovaný stroj je zákazníkem pouze majitel společnosti, a proto není sběr dat z dotazníků možný.

To ale neznamená, že zde cesta inovačních nástrojů končí. V konstrukčním návrhu inovovaného výrobku budou využity další prostředky, jako např. metody DFX a další.

6. Podrobný konstrukční návrh

V této kapitole bude představena detailní podoba inovovaného zařízení. Nejprve bude pozornost zaměřena na představení celého stroje, pak přijde na řadu představení jednotlivých částí a na závěr bude celý konstrukční návrh doplněn o výpočty.

Navrhovaný inovovaný stroj pro řezání plastových lanek:



Obr. č. 18: Stroj pro řezání plastových lanek

Zdroj: Vlastní

6.1 Vstupní část stroje

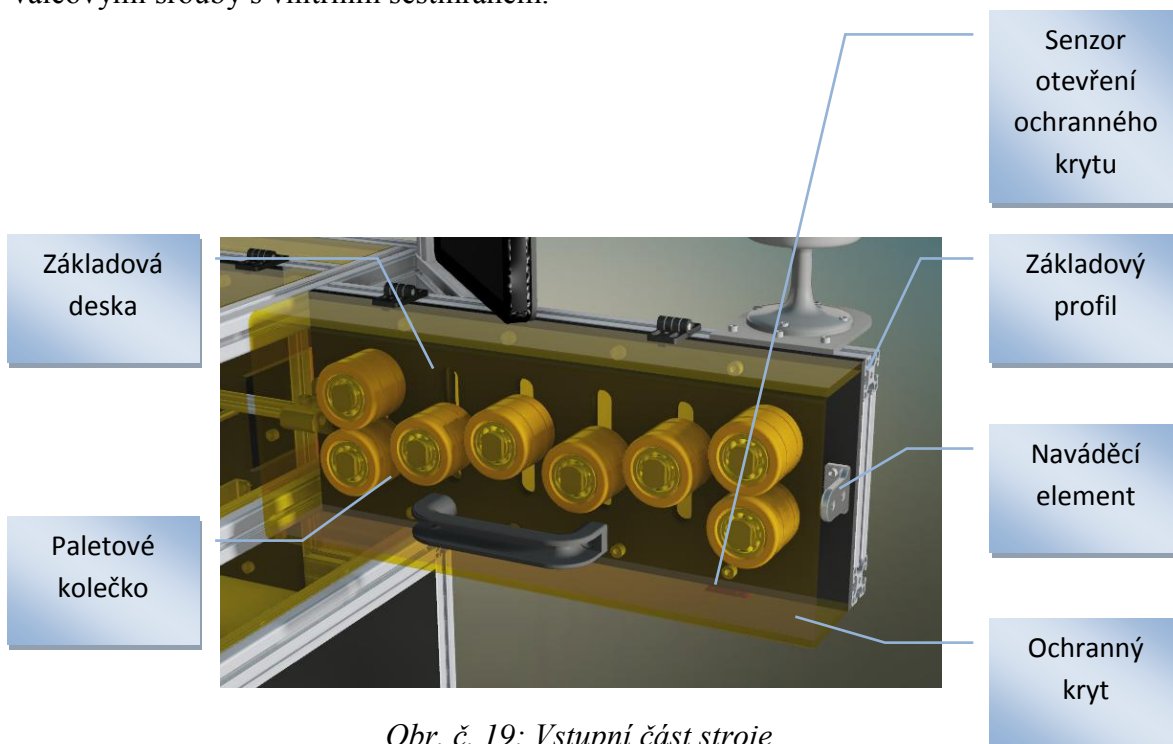
V pravé horní části stroje je umístěna přívodní část do celého zařízení. Vstup je opatřen naváděcím elementem, který slouží pro správné navedení provázku na kladky. Provázek nevstupuje do stroje pouze z jedné bedny, celé ústrojí bylo navrženo tak, aby do stroje současně vstupovaly provázky dva. Tím se zrychlí celý proces zpracování. Vzhledem ke koncepčnímu návrhu mělo být řešeno brzdění kladek, od toho se opustilo. Provázek, v bednách, bude uložen pod stolem. Od naváděcího elementu až do bedny bude na celou soustavu působit gravitační síla od provázku, tudíž se bude jednat o sílu, která bude držet provázek v rozumné míře napnutý.

Samotné naváděcí ústrojí jsou tedy kladky, které byly zvoleny vzhledem k rozměrům řezného ústrojí. Byly využity kolečka pro paletové vozíky, které jsou

osazeny ložisky a jejich obvod je celý pogumovaný. Tím nebude docházet k deformaci provázku. Kolečka se vyrábějí v několika provedeních a jedním z nich je i obvodové rýhování, které je vhodné pro vedení polotovaru.

V přední části, ihned za naváděcím elementem, jsou kolečka lehce přitisknuta k sobě. Jejich spojení pak bude sloužit pro vyšší stabilitu naváděcího procesu. Dále jsou provázky vedeny přes soustavu koleček (4 ks), kde na konci vstoupí do stejně sevřených koleček, jako jsou na počátku.

Paletová kolečka jsou nasazena na dutý hřídel, jenž je z jedné strany osazen a tím tvoří pevný doraz prvního ložiska, na druhé straně je nasazena podložka a celé uložení prochází až do základové desky, která je opatřena drážkami. Ty souží pro optimální nastaven koleček. Za touto deskou je podložka a válcový šroub s vnitřním šestihranem, který se našroubuje do dutého hřídele. Patřičným přitažením vznikne dostatečně pevné spojení. Samotná základová deska je přišroubována k profilu, opět válcovými šrouby s vnitřním šestihranem.



Obr. č. 19: Vstupní část stroje

Zdroj: Vlastní

Celý vstup je opatřen ochranným krytem z barevného plexiskla. Vzhledem k rotaci koleček se jedná o potenciálně nebezpečné místo a je zapotřebí ho adekvátně zakrýt. Se shora je ochranný kryt přichycen přes dva panty přímo do základního profilu. Ze spodu je ke krytu přišroubována první část magnetického senzoru polohy,

k základnímu profilu je pak přišroubovaná druhá část. Jedná se o kontrolní prvek, jenž detekuje pozici ochranného krytu. Pokud se kryt nenachází v poloze „zakryto“, nebude možné stroj spustit.

6.2 Hnací ústrojí

Provázky opouští vstupní část stroje dvěma trubičkami, které slouží pro přesné navedení provázku do hnacího ústrojí. Trubičky jsou na obou koncích opatřeny velkým zaoblením, které chrání provázky před potrháním. Trubičky jsou uloženy v domečku, který je složen ze dvou částí, spojený dvěma šrouby.

Řezné ústrojí bylo navrženo přes pohon krokového elektrického motoru značky Leadshine Technology Co., Ltd., jehož parametry jsou představeny v následující tabulce:

Tab. č. 6: Specifikace parametrů krokového motoru

Elektrický krokový motor 57HS22						
Typ	Zapojení	Moment [Nm]	Proud [A]	Odpor vinutí [Ω]	Indukčnost [mH]	Hmotnost [Kg]
57HS22	Sériové	2,2	2,8	$1,6 \pm 10\%$	$7,2 \pm 20\%$	1,2

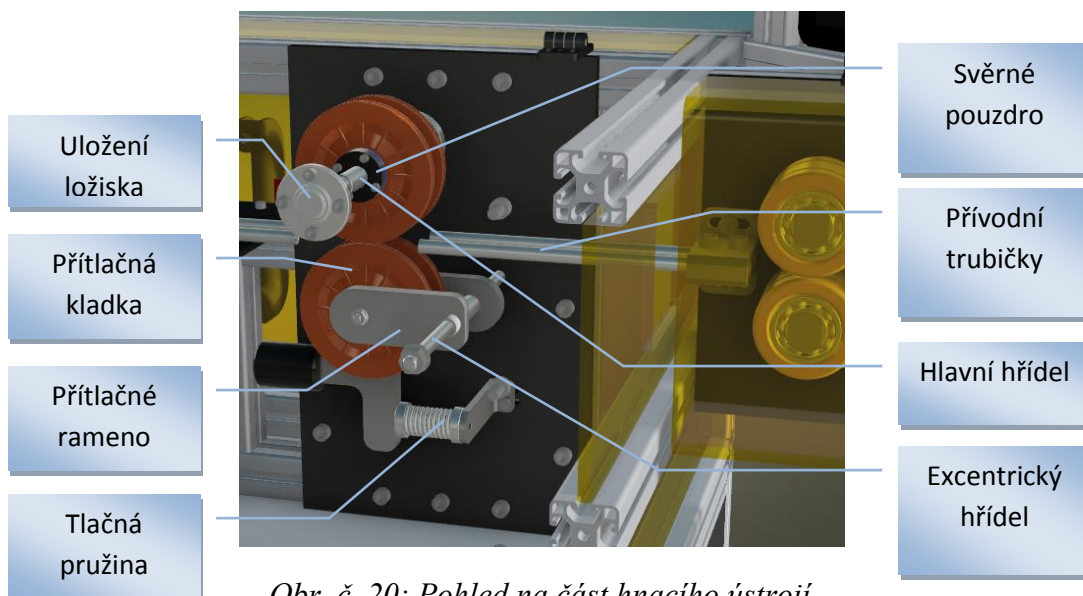
Krokový motor je nasazen na desce, která je přidělena k hlavní profilové síti skrze válcové šrouby s vnitřním šestihranem. Výstupem motoru je hřídel, na který je nasazena pružná spojka výrobce COUP – LINK, typ LK4 – C25. Jedná se o pružnou spojku vhodnou pro přenos maximálního kroutícího momentu velikosti 6 Nm. Vzhledem k tomu, že je kroutící moment krokového motoru 2,2 Nm, je spojka správně zvolena. Na trhu lze nalézt spojky i pro menší momenty, jejich cena byla však vždycky vyšší, než je cena tohoto výrobce.

Do druhého konce pružné spojky vede hlavní hřídel. Jedná se o osazený hřídel pro přenos kroutícího momentu, který je ze strany spojky uložen v hybné vazbě (ložisko) a na druhé straně uložen v pevné vazbě (opět ložisko). Ložiska jsou vždy uložena v katalogizovaných domečkách, určených přesně pro tento typ ložisek. Na osazeném hřídeli jsou nasazeny dvě hnací kladky, což jsou elementy, které budou předávat kroutící moment provázkům a tím je rozpohybují. Hnací kladky budou na hřídeli připevněny pomocí samostředících svěrných pouzder BK 80 od výrobce

Haberkorn. Vzhledem k malému krouticímu momentu se jedná o dostatečný prvek zajištění přenosu sil, neboť se tyto pouzdra dají použít až do 12 Nm.

Kladky hlavního hřídele jsou zespodu přitlačovány shodnými kladkami, a to z toho důvodu, aby se vytvořilo „svěrné spojení“ mezi kladkami a provázky. Spodní kladky jsou uloženy na speciálních ramenech. Ramena jsou uložena na hřídeli, který je uložen v hlavních deskách, a to excentricky vůči hlavnímu hnacímu hřídeli. Soustava je doplněna o tlačnou pružinu, která svou silou tlačí, přes uložení talířů, do speciálních ramen. Vlivem excentricky uloženému ramenu pak vzniká síla, která tlačí přitlačné kladky do kladek hnacích. Zjednodušeně řečeno se jedná o jednoduchý systém převodu síly pružiny na přitlačnou sílu kladek.

Nyní je jasné, proč je hnací hřídel několikrát osazen. Působí na něj zatížení vyvolané nejenom střídavým krutem, ale i zatížením ohybovým, vzniklým od přitlačných kladek. Vzhledem k složitosti situace bude hnacímu hřídeli věnována značná část celkových výpočtů.



Obr. č. 20: Pohled na část hnacího ústrojí

Zdroj: Vlastní

Princip hnacího ústrojí, vedeného pomocí elektrického motoru a soustavou kladek je dnes běžně užíván u metody obloukového svařování v ochranné atmosféře plynu CO₂. Drát, který leze z hubice, je namotaný na cívce a uložený ve svářecím agregátu. Odtud je systémově veden a odvíjen pomocí shodného systému kladek, jaký byl využit i v této práci. Obvykle jsou tyto odvíjecí systémy opatřeny vodící trubičkou

před i za hnací a přitlačnou kladkou, přesně jak bylo navrženo i pro tuto práci. Jedná se tedy o ověřený systém dopravy drátů a využití zde je tedy možné.

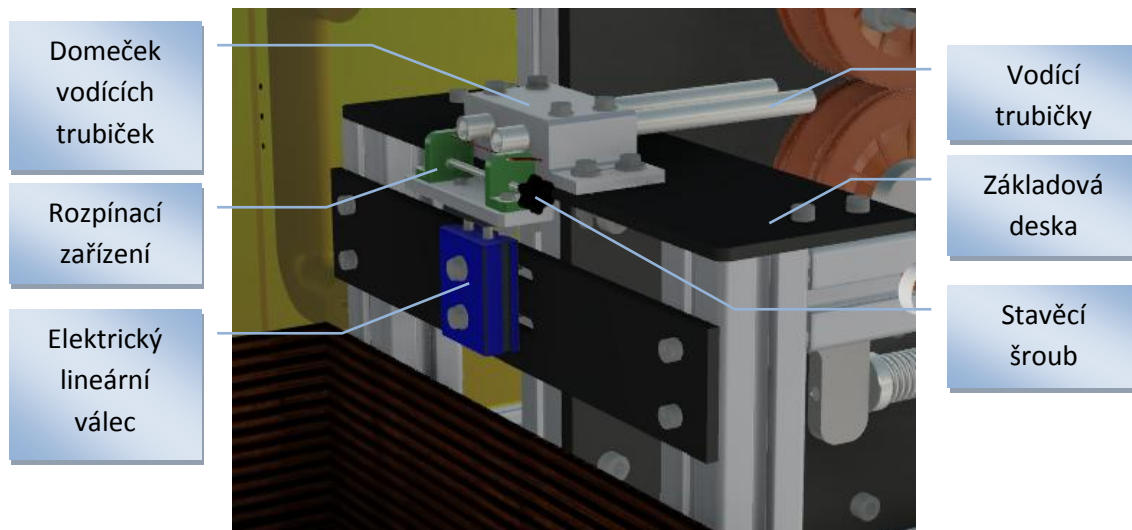
Pro doplnění hnacího ústrojí je nutno podotknout, že přitlačné kladky jsou nasazeny na ložiska, excentrický hřídel uložení je z každé strany opatřen závitem a zajištěn podložkou s maticí. Speciální ramena, nasazená na excentrický hřídel, jsou vybavena kluznými ložisky, neboť se ramena budou během seřizování hýbat. Polohu ramen na hřídeli určují svěrné kroužky. Větší rameno je pak opatřeno pákou s rukojetí, a to pro snadnější odtáhnutí přitlačných kladek od kladek hnacích.

6.3 Řezné ústrojí

Stejně jako vstup do hnacího ústrojí, řešeného pomocí naváděcích trubiček, tak je i vstup (a současně i výstup naváděcího ústrojí) ústrojí realizován pomocí stejných prvků. Zde slouží opět pro přesnou definici dráhy odvinutých provázků. Trubičky jsou chyceny do podobného domečku, jako u vstupního vedení. Tento domeček je přišroubován do desky, která je připevněna na hlavní část profilové klece. Trubičky jsou mírně předsazeny směrem ven ze stroje, to záměrně proto, že slouží jako přídržný element pro tavení.

Ve spodní části, hned pod zmiňovanou deskou, je ve vertikálním směru připevněna deska, na které je, skrze drážky, přišroubován lineární válec výrobce SMC, modelová řada CSX. Jedná se o elektricky řízený lineární válec, velice podobný krokovým lineárním motorům, jehož výsuvná část je specifická tím, že je podpořena dvěma kusy vodících tyčí. Jedná se o produkt, který je řízen vlastní řídicí jednotkou (pozn.: elektrický krokový motor řízen podobnou řídicí jednotkou). To si s sebou nese plno výhod, jako např. změna charakteristiky rychlosti pohybu výsuvné části apod. V dané problematice lze tuto výhodu využít přímo při procesu řezání. Plastový polotovar je průměru 5 mm, to ale neznamená, že i dráha lineárního válce bude právě 5 mm. Musí se počítat s dráhou „náběhu“, tedy se vzdáleností, než se řezná část dostane ke styku s polotovarem, a s „výběhovou dráhou“, tedy s určitou rezervou. Vzhledem k tomu, že se může rychlost v průběhu pohybu měnit, lze tuto náběhovou a výběhovou dráhu nechat provést rychle a samotnou dráhu, kdy bude docházet k tavení, zpomalit natolik, aby došlo k požadovanému zatavení.

Elektrický lineární válec byl zvolen především pro rozsah dráhy, který výrobce uvádí jako hodnotu 30 mm. Uložení takovýchto válců je pak obvykle řešeno pomocí dvou šroubů, které vedou skrze tělo motoru.



Obr. č. 21: Pohled na řezné ústrojí

Zdroj: Vlastní

Výsuvný konec lineárního válce je opatřen deskou s dírami pro šrouby. Na ní je připevněna deska se samotným řezným aparátem. Řezný aparát je složen z dvou profilů typu L, kde jeden je přišroubován napevno, druhý taktéž, ale s tím rozdílem, že je možné vést ho v drážkách desky. Jedná se tedy o rozpěrný prvek této soustavy. Dalším prvkem je dlouhý šroub, který vede skrze závitovou díru posuvného L profilu a je opřen do pevného L profilu. Pootáčením šroubu bude hybný profil odtahován od profilu pevného, jeho dráha bude dána pohybem šroubů v drážkách spodní desky. Jen co se hybný L profil dostane na správnou polohu (poloha úplného vypnutí řezacího elementu), budou šrouby (ty co jezdí v drážkách spodní desky) přitaženy a tím dojde k zajištění polohy. Jedná se tedy o velice jednoduchý princip rozpínání, který lze kdykoliv upravit.

Celý rozpínací systém byl zkonstruován s ohledem na řezný element. V současném zařízení, které se ve firmě využívá, je použita odporově vyhřívaná planžeta. Vzhledem k jejím nedostatkům (popsáno v kapitole 2.3 Výhody, nevýhody) nebude použita v inovovaném stroji, zde bude využit odporový řezný drát. Odporový drát je prvek, který se dnes běžně využívá k tavnému řezání např. polystyrenu a jiných materiálů. Obvykle bývá vyroben z kanthalu, což je slitina železa, chromu, hliníku

a stopových prvků kobaltu. Jedná se o materiál s vynikající odolností vůči vysokým teplotám a je hojně využíván tam, kde je zapotřebí přeměnit elektrickou energii na teplo. Za vysokých teplot si udržuje podobné mechanické vlastnosti, jako při pokojové teplotě (cca 20°C).

Obvyklé uložení takovýchto odporových drátů je přes nalisované koncovky, které se rozepřou mezi dva prvky rámu. To je důvod, proč je lineární válec opatřen rozpěrným mechanismem. Odporový drát, vsazený do rozpěrného systému, může být libovolně vypnut během několika málo pootočení stavěcím šroubem.

Pro přetavení provázků lze nechat lineární motor ve vysunuté poloze, dokud se neodvinou provázky, a cestou zpět, do dolní úvratě, je přetavit. Je to jednoduchý princip na zrychlení procesu tavení.

Pod řezným ústrojím je připravena kartonová krabice, která slouží jako zásobník pro již hotové kusy. Úplný konec stroje je opatřen optickou branou, a to z toho důvodu, neboť prostor pro kartonovou krabici není ničím chráněn. Je velice nepravděpodobné, že by někdo, kdo chce vytáhnout plnou krabici s provázky, zasunul ruku natolik daleko, aby se dostal až do prostoru řezného aparátu, ale vzhledem k bezpečnosti, která by měla být vždy na prvním místě, byly tyto senzory přidány jako prvek bezpečnosti.

6.4 Bezpečnostní, ovládací a signalizační prvky stroje

Jak bylo již dříve zmíněno, celý stroj bude poháněn elektrickou energií. Všechny hlavní elektrické prvky, jakožto krokový elektromotor a lineární válec, budou napojeny na své vlastní řídicí jednotky, které budou definovat jejich chování během celého procesu. Z důvodu jejich přítomnosti byla pod strojem vytvořena skříň, která bude sloužit pro jejich uskladnění. Odporový drát bude vytápěn pomocí zdroje střídavého napětí, který zde bude také uložen.

Do této skříně bude přivedeno hlavní elektrické vedení, dále pak rozděleno do příslušných částí obvodů, je tedy zapotřebí do této skříně uložit i veškeré elektrické komponenty, které budou s tímto problémem souviset (elektrické vodiče, pojistky a další).

Jedním z hlavních ovládacích prvků je dotykový monitor, umístěn ve vrchní části stroje. Obrazovka bude sloužit pro nastavení všech potřebných parametrů výroby, od rychlosti otáček elektromotoru až po rychlost lineárního válce. Zároveň bude

monitor sloužit jako kontrolní prvek andon a počítadlo vyrobených kusů. Kontrolní prvek andon je umístěn hned vedle obrazovky. Jedná se o vizuální systém kontroly, jenž je rozdělen do tří sektorů. První, vrchní, je zelený. Druhý, prostřední, je oranžový a poslední, spodní sektor je červený. Pokud svítí zelený sektor, stroj je v provozu a vyrábí bez chyb. Pokud bude svítit prostřední, oranžový sektor, bude stroj sice vyrábět, ale s určitou abnormalitou (např. docházející provázek v bedně). Pokud se ale objeví závady, jenž by měly vliv na bezpečnost stroje, obsluhy nebo rozměry uříznutého provázku, stroj vyšle signalizaci do posledního, červeného sektoru. Rozblikáním červeného sektoru dojde k zastavení celého stroje. Následně bude chyba vyhodnocena řídicím systémem počítače a zobrazena na dotykové obrazovce.

Mezi bezpečnostní prvky, které budou hlídat stroj, budou patřit senzory přítomnosti zavření dveří, které budou instalovány do všech otvíraných částí. Stejným principem budou hlídána i dvířka od ovládacích prvků stroje. Posledním bezpečnostním prvkem soustavy je systém optické brány, která bude hlídat výstupní část stroje. Pokud kdokoliv strčí ruku do prostoru s kartonovou krabicí na hotové provázky, výroba opět zastaví.

Vzhledem k bezpečnosti byl celý stroj zakryt systémem tónovaných plexi skel. Průhledná skla jsou výhodná pro svou možnost vizuální kontroly.



Obr. č. 22: Bezpečnostní, ovládací a signalizační prvky stroje

Zdroj: Vlastní

6.5 Kontrolní výpočty

V této kapitole budou představeny jednotlivé výpočty, jenž podpoří konstrukční návrh stroje. Bude se jednat o výpočty sloužící pro správný výběr krokového motoru, pro návrh tlačné pružiny, zdroje napětí odporového drátu. Vše bude doplněno o návrh a kontrolu ložisek. Největší část výpočtů pak bude věnována pevnostnímu návrhu hlavního hřídele, který je namáhán střídavým krutem (od krokového motoru) a konstantním ohybem (od přitlačných kladek).

Kontrolní výpočet momentů setrvačnosti

Krokový motor bude vzhledem k vstupní části stroje tahat nejen provázek, ale i roztáčet jednotlivá paletová kolečka, hlavní hřídel, pružnou spojku a další. Vzhledem k tomuto faktu byly vypočteny momenty setrvačnosti všech prvků, které ovlivňují tento problém.

Tab. č. 7: Momenty setrvačnosti

Přehled součástí			
Název součásti	Počet ks	Vzorec	I [kg*m ²]
Hnací kladka	2	$I = m. (R_1^2 - R_2^2)$	0,002651
Přítlačná kladka	2	$I = m. (R_1^2 - R_2^2)$	0,002917
Pružná spojka	1	$I = m. (R_1^2 - R_2^2)$	0,00001
Svěrné pouzdro	2	$I = m. (R_1^2 - R_2^2)$	0,000037
Hnací hřídel	1	$I = \frac{1}{2} \cdot m. R^2$	0,000123
Ložisko - přítlačná kladka	2	$I = m. (R_1^2 - R_2^2)$	0,000011
Paletové kolečko	8	$I = m. (R_1^2 - R_2^2)$	0,014968
Ložisko hnací hřídel	2	$I = m. (R_1^2 - R_2^2)$	0,000011

Z tab. č. 7 je patrné, že i když se jedná o tvarově složitější součásti, vzhledem ke komplikovanosti výpočtů byly všechny idealizovány a tím došlo i ke zjednodušení výpočtových vztahů. Výpočty jednotlivých součástí uvedeny v práci nejsou, a to z důvodu jejich rozsahu. Uvedeny jsou pouze výpočtové vzorce a výsledky.

Celkový moment setrvačnosti je dán součtem dílčích momentů jednotlivých součástí, tedy:

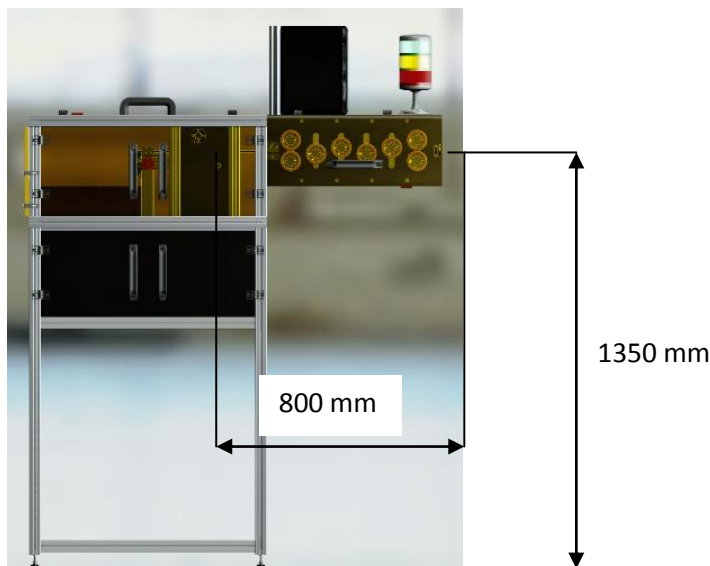
$$I = \sum_{k=1}^8 I_i$$

$$I = \sum_{k=1}^8 (0,002651 + 0,002917 + 0,00001 + 0,000037 + 0,000123 + 0,000011 + 0,014968 + 0,000011)$$

$$I = 0,020729 \text{ [kg.m}^2\text{]}$$

Kontrolní výpočet síly potřebné na protažení provázku

Jedná se o sílu, která bude zapotřebí k tomu, aby se provázek vytáhl z kartonové krabice umístěné na zemi pod strojem, prošel skrze vstupní ústrojí až do samotné hnací jednotky stroje. Samotný výpočet vychází z následujícího obrázku (obr. č. 23).



Obr. č. 23: Výpočtové schéma stroje

Zdroj: Vlastní

Nejprve bude pozornost zaměřena na sílu (F_p), která je zapotřebí k protažení provázku v hnacím ústrojí:

$$F_p = m \cdot a \text{ [N]} \quad (3)$$

F_p	síla pro tažení provázku	N
m	hmotnost provázku	kg
a	zrychlení	mm.sec ⁻²

Určení hmotnosti provázku, který je mezi vstupním zařízením stroje a bednou polotovaru:

$$m = V \cdot \rho = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot l \cdot \rho \text{ [kg]} \quad (4)$$

$$m = \frac{\pi \cdot 0,005^2}{4} \cdot 0,8 \cdot 946$$

$$m = 0,0148 \text{ [kg]}$$

Kde:

m	hmotnost provázku	kg
d	průměr provázku	= 5 mm
l	délka provázku	= 0,8 m
ρ	měrná hustota	= 946 kg.m ³

Dosazení veličin do hlavního výpočtového vztahu (3):

$$F_p = 0,0148 \cdot 1$$

$$F_p = 0,0148 \text{ [N]}$$

Hmotnost byla vypočítána na základě uvedených vzorců, kde byla dána měrná hustota polypropylenového polotovaru, zrychlení a délkou (vychází se z obr. č. 23). Nyní výpočet síly potřebné k vyzvednutí provázku z bedny:

$$F_v = V \cdot \rho \cdot g \text{ [N]} \quad (5)$$

$$F_v = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot l \cdot \rho \cdot g$$

$$F_v = \frac{\pi \cdot 0,005^2}{4} \cdot 1,35 \cdot 946 \cdot 10$$

$$F_v = 0,251 \text{ [N]}$$

Kde:

F_v	síla vytažení provázku	N
d	průměr provázku	= 5 mm
l	délka provázku	= 1,35 m
ρ	měrná hustota	= 946 kg.m ³
g	tíhové zrychlení	= 10 m.s ⁻²

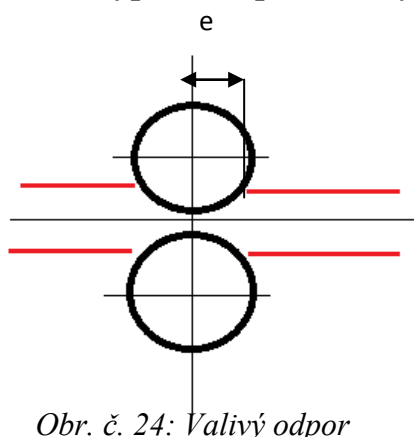
Celková síla (F_c) na protažení provázku je tedy dána součtem síly F_p a F_v :

$$F_c = F_p + F_v [N] \quad (6)$$

$$F_c = 0,0148 + 0,251$$

$$F_c = 0,266 [N]$$

Kontrolní výpočet odporové síly při valení



Obr. č. 24: Valivý odpor

Zdroj: Vlastní

e	excentricita	= 0,15 mm
R	poloměr provázku	= 2,5 mm
F_n	Síla mezi tělesy	= 264 N
F_t	Valivý odpor	N

$$F_t = \frac{e \cdot F_n}{R} [N] \quad (7)$$

Mezi hnacími a přítlačnými kladkami vznikne valivý odpor (síla F_t), který je třeba zahrnout do celkových výpočtů potřebných pro určení kroutícího momentu elektrického krokového motoru. Excentricita je hodnota, která byla odečtena na základě 3D dat modelu stroje. V praxi existují tabulky, které koeficient e odhadují. Obecně se ale hodně liší, a proto není možné brát tuto hodnotu jako „bernou minci“. Síla mezi tělesy je síla, jejíž výpočet je proveden v kontrolním výpočtu přítlačné síly.

$$F_t = \frac{0,15 \cdot 264}{2,5}$$

$$F_t = 15,84 [N]$$

Nyní lze všechny odporové síly sečíst a tím lze zjistit, jak velká bude hodnota všech sil, které je zapotřebí překonat (síla F_{hl}). V potaz je nutné brát i ten fakt, že vedení je složeno z dvou drah, je tedy zapotřebí celkovou cílu vynásobit číslem dva.

$$F_{hl} = (F_c + F_t) \cdot 2 \text{ [N]} \quad (8)$$

$$F_{hl} = (0,266 + 15,84) \cdot 2$$

$$F_{hl} = 32,212 \text{ [N]}$$

Kontrolní výpočet kroutícího momentu krokového motoru

Celkový kroutící moment bude dán součtem jednotlivých kroutících momentů vzniklých od jednotlivých zatížení. Bude se tedy jednat o kroutící momenty od momentu setrvačnosti, od provázku a od odporových sil.

Kroutící moment od momentu setrvačnosti:

$$M_{k1} = \varepsilon \cdot I \text{ [Nm]} \quad (9)$$

$$M_{k1} = 1,0,0207$$

$$M_{k1} = 0,021 \text{ [Nm]}$$

Kde:

ε úhlové zrychlení $1 \text{ rad} \cdot \text{sec}^{-2}$

I moment setrvačnosti $0,0207 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

Kroutící moment od provázku:

$$M_{k2} = F \cdot R = (m \cdot 10) \cdot R \text{ [Nm]} \quad (10)$$

$$M_{k2} = (V \cdot \rho \cdot 10) \cdot R$$

$$M_{k2} = \left(\frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot l \cdot \rho \cdot 10 \right) \cdot R$$

$$M_{k2} = \left(\frac{\pi \cdot 0,005^2}{4} \cdot 1,35 \cdot 946 \cdot 10 \right) \cdot 0,05$$

$$M_{k2} = 0,025 \text{ [Nm]}$$

Kde:

M_{k2}	kroutící moment	Nm
d	průměr provázku	= 5 mm
l	délka provázku	= 1,35 m
ρ	měrná hustota	= 946 kg.m ³
R	poloměr hn. kladky	= 50 mm

Nyní lze určit kroutící moment od odporových sil:

$$M_{k3} = F_{hl} \cdot R \text{ [Nm]} \quad (11)$$

$$M_{k3} = 32,212.0,05$$

$$M_{k3} = 1,611 \text{ [Nm]}$$

Teoretický kroutící moment je dán součtem jednotlivých momentů, tedy:

$$M_k = M_{k1} + M_{k2} + M_{k3} \text{ [Nm]} \quad (12)$$

$$M_k = 0,021 + 0,025 + 1,611$$

$$M_k = 1,657 \text{ [Nm]}$$

Výsledný teoretický kroutící moment je potřebný k určení krokového motoru. Vzhledem z povaze celé hnací soustavy je vhodné vybrat motor s vyšším kroutícím momentem, než jaký byl vypočten. Obvykle jsou motory naddimenzovány o hodnotu 50 až 200 %. Pokud se v soustavě vyskytují míjivé průběhy zatížení, motory jsou často vypínány a znovu zapínány, je možné motory předimenzovat i více, než je obvyklé. S ohledem na tyto znalosti byl vybrán motor s kroutícím momentem $M_k = 2,2 \text{ Nm}$.

Teoretický výpočet počtu otáček pro předepsanou délku polotovaru

Proto, aby krokový motor odvinul přesnou délku provázku, tedy 424 mm, je zapotřebí znát úhel (α) otočení hnací kladky. Jako první je stanoven převod stupně na jeden milimetr. R je poloměr kladky, tedy 50 mm.

$$\frac{\pi \cdot R}{180} = \frac{\pi \cdot 50}{180} = 0,8726 \text{ [mm na } 1^\circ] \quad (13)$$

Pro odvinutí délky 424 mm je zapotřebí úhel α :

$$\alpha = \frac{l}{0,8726} [^\circ] \quad (14)$$

$$\alpha = \frac{424}{0,8726}$$

$$\alpha = 485,904 [^\circ]$$

Kde:

α	úhel otočení hn. kladky	$^\circ$
l	délka plast. výrobku	= 424 mm
R	poloměr hn. kladky	= 50 mm

Návrh přitlačné síly

Výpočet vychází ze vzorce krouticího momentu, který je dán jako součin třecí síly (F_t) a ramena působení (R_s). Třecí sílu lze rozepsat na součin přitlačné síly (F_a) a koeficientu statického tření (f) a poloměru ramene, tedy:

$$M_k = F_t \cdot R_s = F_a \cdot f \cdot \frac{D_1 + D_2}{4} [Nm] \quad (15)$$

$$F_a = \frac{4 \cdot M_k}{f \cdot (D_1 + D_2)} [N]$$

$$F_a = \frac{4 \cdot 2,2}{0,2 \cdot (0,1 + 0,1)}$$

$$F_a = 220 [N]$$

Kde:

F_a	přítlačná síla	N
M_k	krouticí moment	= 2,2 Nm
f	součinitel tření	= 0,2
D_1	průměr hn. kladky	= 100 mm
D_2	průměr př. kladky	= 100 mm

Moment M_k je moment od krokového motoru, jehož hodnota je 2,2 Nm. Koeficient f byl zvolen pro statické tření, tedy 0,2. Obě kladky, jak hnací, tak i hnaná, jsou stejného průměru. Přítlačná síla 220 N bude vynásobena koeficientem 1,2 a tím se určí přítlačná síla pružiny:

$$F_p = 1,2 \cdot F_a [N] \quad (16)$$

$$F_p = 1,2.220$$

$$F_p = 264 [N]$$

Návrh pružiny

Pro tlačnou pružinu, která bude přes excentrický mechanismus tlačit kladky ke kladkám hnacím, bylo zvoleno:

Délka pracovního prostoru $l = 46,2 \text{ mm}$

Vnější průměr pružiny $D_e = 15 \text{ mm}$

Průměr drátu pružiny $d = 2,5 \text{ mm}$

Volná délka pružiny $L_0 = 59,1 \text{ mm}$

Celkový počet závitů $n = 18,6$

Modul pružnosti ve smyku $G = 81500 \text{ MPa}$

Max. průměr prac. prostoru $P_p = 50 \text{ mm}$

Mez kluzu ve smyku lze určit z vztahu:

$$R_{se} = 0,45 \cdot (1980 - 740 \cdot \lg(d)) [MPa] \quad (17)$$

$$R_{se} = 0,45 \cdot (1980 - 740 \cdot \lg(2,5))$$

$$R_{se} = 758,485 [MPa]$$

Střední průměr vinutí lze stanovit ze vzorce:

$$D = D_e - d [mm] \quad (18)$$

$$D = 15 - 2,5$$

$$D = 12,5 [mm]$$

Výpočtový vztah pro tuhost pružiny:

$$K = \frac{d^4 \cdot G}{8 \cdot D^3 \cdot n} [N/mm] \quad (19)$$

$$K = \frac{2,5^4 \cdot 81500}{8 \cdot 12,5^3 \cdot 18,6}$$

$$K = 29,107 [N/mm]$$

Délka pružiny v mezním stavu:

$$l_s = d \cdot (n + 1) [mm] \quad (20)$$

$$l_s = 2,5 \cdot (18,6 + 1)$$

$$l_s = 49,3 \text{ [mm]}$$

Nyní bude pozornost zaměřena na přítlačnou sílu, která dle vzorce (16) musí být 264 N. Stanoví se ze vztahu:

$$F = K \cdot (L_0 - Pp) [N] \quad (21)$$

$$F = 29,107 \cdot (59,1 - 50)$$

$$F = 264,132 [N]$$

Síla pružiny v mezním stavu:

$$F_s = K \cdot (L_0 - L_s) [N] \quad (22)$$

$$F_s = 29,107 \cdot (59,1 - 49,3)$$

$$F_s = 284,771 [N]$$

Nyní lze určit poměr vinutí:

$$C = \frac{D}{d} [-] \quad (23)$$

$$C = \frac{12,5}{2,5}$$

$$C = 5 [-]$$

Bergstrasseův součinitel je dán vztahem:

$$K_B = \frac{4 \cdot C + 2}{4 \cdot C - 3} [-] \quad (24)$$

$$K_B = \frac{4 \cdot 5 + 2}{4 \cdot 5 - 3} [-]$$

$$K_B = 1,294 [-]$$

Smykové napětí v mezním stavu je dáno vzorcem:

$$\tau_s = K_B \cdot \frac{8 \cdot F_s \cdot D}{\pi \cdot d^3} [MPa] \quad (25)$$

$$\tau_s = 1,294 \cdot \frac{8 \cdot 284,771 \cdot 12,5}{\pi \cdot 2,5^3}$$

$$\tau_s = 750,689 [MPa]$$

Na závěr se určí bezpečnost v mezním stavu pružiny:

$$K_s = \frac{R_{se}}{\tau_s} [-] \quad (26)$$

$$K = \frac{758,689}{750,689}$$

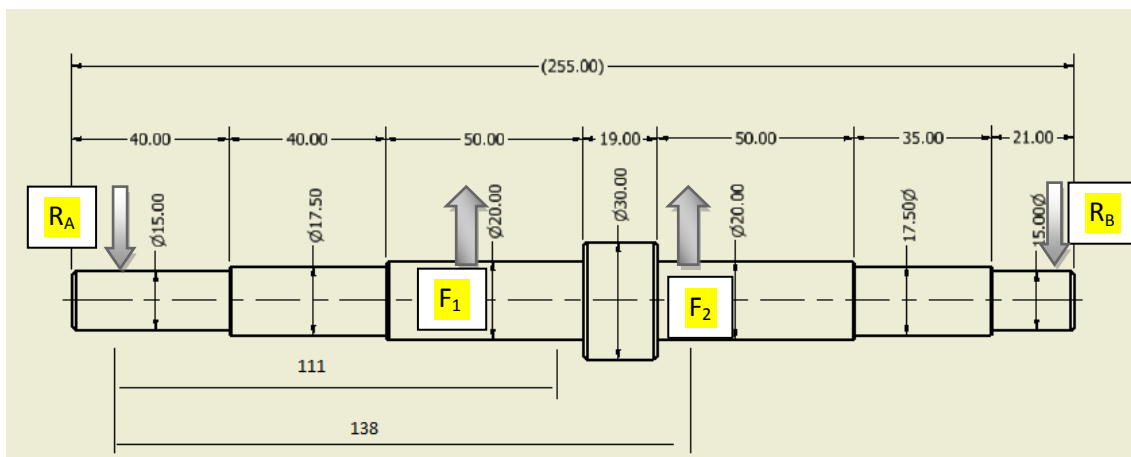
$$K_s = 1,01[-]$$

Vzhledem k faktu, že je mezní bezpečnost > 1 , je pružina správně zvolena a pro navrhovaný mechanismus správně nadimenzována.

Pevnostní návrh hřídele

Jak již bylo řečeno (kapitola 6.5), hnacímu hřídeli bude věnována největší pozornost. To z toho důvodu, že se jedná o součást, která bude namáhána střídavým krutem a střídavým ohybem. Vzhledem k těmto průběhům se jedná o nejhorší možné zatížení a je tedy na místě se této problematice věnovat vskutku pečlivě.

V první části bude hřídel přestaven jednoduchým obrázkem (obr. č. 25, rozměry uvedeny v milimetrech), následovat bude výpočet reakcí v uložení. Následně se vypočítají kruty v jednotlivých průřezech a porovnájí s dovolenými hodnotami. Poté se to samé provede i pro ohyb, kde se na konci výpočtu určí největší napětí v průřezu a to bude bráno jako kritické místo, pro které se pak spočítá bezpečnost, která bude brána jako celková bezpečnost celého hřídele (neboť ostatní průřezy nebudou tolik namáhány).



Obr. č. 25: Hnací hřídel

Zdroj: Vlastní

Materiál hřídele byl zvolen 11 700. Rovnice brány zleva, od místa podpory Ra. Nyní lze vypočíst reakce:

$$-R_a + F_1 + F_2 - R_b = 0 \quad (27)$$

$$-F_1 \cdot l_1 - F_2 \cdot l_2 + R_b \cdot l = 0 \quad (28)$$

Rovnice jsou brány zleva. Pro jednoduchost výpočtu bude uveden pouze příslušný vzorec a k němu výsledek:

$$R_b = \frac{F_1 \cdot l_1 + F_2 \cdot l_2}{l} = 273,9 \text{ [N]} \quad (29)$$

$$R_a = R_b - F_1 - F_2 = -254,1 \text{ [N]} \quad (30)$$

Kde:

R_a	reakce v levé podpoře	N
R_b	reakce v pravé podpoře	N
F_1	první přitlačná síla	= 264 N
F_2	druhá přitlačná síla	= 264 N

Pro jednoduchost bude postup proveden pouze pro první průřez hřídele. Zbýlé průřezy budou zkontrolovány stejnými výpočty, jejich výsledky budou zaznamenány v tabulce.

$$\tau_{k1} = \frac{M_k}{W_k} = \frac{M_k}{\frac{\pi \cdot d^3}{16}} \text{ [MPa]} \quad (31)$$

$$\tau_{k1} = \frac{2,2}{\frac{\pi \cdot 0,015^3}{16}}$$

$$\tau_{k1} = 3,319 \text{ [MPa]}$$

Kde:

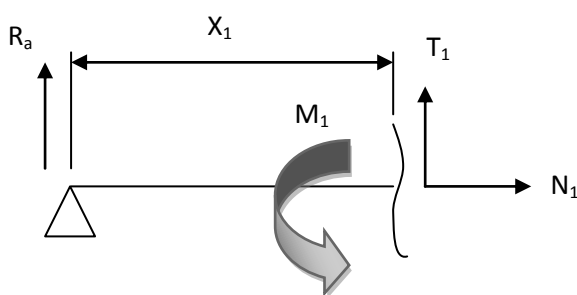
τ_{k1}	napětí v krutu pro první pr.	MPa
M_k	kroutící moment	= 2,2 N
d	průměr hřídele v 1. místě	= 15 mm

Tab. č. 8: Napětí v krutu jednotlivých průřezů

Napětí v krutu jednotlivých průřezů	
Označení průřezu	τ_k [MPa]
τ_{k1}	3,319
τ_{k2}	2,09
τ_{k3}	1,4
τ_{k4}	0,414
τ_{k5}	1,4
τ_{k6}	2,09
τ_{k7}	3,319

Dovolená hodnota v krutu je dána vzorcem $\tau_k = 0,25 \cdot \sigma_{dt}$, což pro materiál 11 700, který má mez pevnosti cca 700 MPa, je $\tau_k = 175$ MPa. Z tohoto hlediska hřídel vyhovuje. Tento vzorec ale není dostačující, jedná se o vzorec pro statické napětí v krutu, ne pro střídavé. Proto tato podmínka nebude brána vážně, slouží pouze orientačně.

Výpočty pro ohybové napětí budou opět představeny pouze pro první průřez, zbytek bude doplněn tabulkou, stejně jako v předchozím případě krutu.



Obr. č. 26: Schéma prvního řezu

Zdroj: Vlastní

R_a	reakční síla	-254,1 N
X_1	$\epsilon < 0 \sim 40 >$ mm	
T_1	tečná síla	
N_1	normálová síla	
M_k	kr. moment	2,2 Nm
M_1	ohyb. moment v průřezu 1	

$$M_1 = R_a \cdot X_1 [Nm] \quad (32)$$

$$M_1 = -254,1.0,04$$

$$M_1 = -10,164 [Nm]$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{M_1}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} [MPa] \quad (33)$$

$$\sigma_o = \frac{-10,164}{\frac{\pi \cdot 0,015^3}{32}}$$

$$\sigma_o = -30,675 [MPa]$$

Kde:

σ_o ohybové napětí 1. průřezu MPa

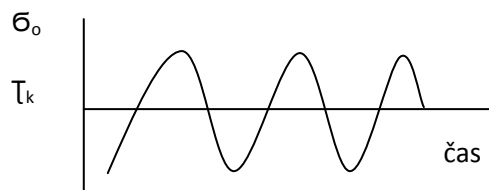
M_1 ohybový moment 1. Průřezu = -10,164 Nm

d průměr hřídele v 1. místě = 15 mm

Tab. č. 9: Napětí v ohybu jednotlivých průřezů

Napětí v ohybu jednotlivých průřezů	
Označení průřezu	σ_o [MPa]
σ_{01}	-30,675
σ_{02}	-31,389
σ_{03}	-35,86
σ_{04}	-10,562
σ_{05}	-19,528
σ_{06}	-10,93
σ_{07}	17,356

Dovolená hodnota v ohybu je dána vzorcem $\sigma_o = 0,43 \times \sigma_{dt}$, pro materiál 11 700 tedy hodnota 301 MPa. Stejně jako u krutu toto není správný výpočet, i ohyb má střídavý průběh. Proto tyto hodnoty opět slouží pouze pro orientaci.



Obr. č. 27: průběh ohybového napětí a napětí v krutu

Zdroj: Vlastní

Z obou tabulek vyplývá, že největší napětí v krutu je v průřezu č. 1 a 7 a největší napětí ohybové v č. 3. Vzhledem k tomu, že je krut natolik malý a ohyb ho značně převyšuje, bude pozornost zaměřena na průřez č. 3, tedy na průměr hřídele 20 mm.

Jako první se spočítá součinitel α a dosadí se do Heywoodova vztahu pro součinitel vrubové houževnatosti β . Dány jsou součinitel velikosti $v = 0,9$ a součinitel jakosti povrchu $\mu = 0,9$. Poté bude proveden výpočet bezpečnosti jak v krutu, tak i ohybu. Na závěr se výpočty spojí do jednoho uceleného vztahu pro určení celkové bezpečnosti průřezu.

$$\sigma_o^* = \frac{0,43 \cdot R_m \cdot v \cdot \mu}{\beta} \text{ [MPa]} \quad (34)$$

$$\sigma_o^* = \frac{0,43 \cdot 700 \cdot 0,9 \cdot 0,9}{1,73}$$

$$\sigma_o^* = 140,931 \text{ [MPa]}$$

Kde:

σ_o^* mezní ohybové napětí MPa

R_m mez pevnosti materiálu = 700 MPa

v součinitel velikosti = 0,9

μ součinitel jakosti povrchu = 0,9

Součinitel β byl vypočten dle Heywoodova vztahu:

$$\beta_0 = \frac{\alpha}{1 + \frac{\alpha-1}{\alpha} \cdot \frac{K_0}{\sqrt{r}}} \quad (35)$$

Kde pro osazení platí:

$$\left. \begin{aligned} K_0 &= \frac{280}{R_m} = \frac{280}{700} = 0,4 [-] \\ \frac{r}{d} &= \frac{0,5}{17,5} = 0,028 [-] \end{aligned} \right\} \boxed{\alpha=2.28} \quad (36)$$

$$\frac{D}{d} = \frac{20}{17,5} = 1,1 [-]$$

$$\beta_0 = \frac{2,28}{1 + \frac{2,28 - 1}{2,28} \cdot \frac{0,4}{\sqrt{0,5}}}$$

$$\beta_0 = 1,73 [-]$$

Kde:

β_0 součinitel vrubové houž.

α teoret. součinitel tvaru = 2,28

\sqrt{r} poloměr kořenu vrubu = 0,5

K_0 tvar vrubu – osazení = 0,4

Stejný postup byl proveden i pro určení koeficientu β_k (pro krut), s jediným rozdílem, že součinitel jakosti povrchu byl dán vzorcem:

$$\mu_k = \frac{\mu + 1}{2} \quad (37)$$

Kde po dosazení vyšlo:

$$\beta_k = 1,22 [-]$$

Výsledný vzorec pro krut:

$$\tau_k^* = \frac{0,25 \cdot R_m \cdot v \cdot \mu_k}{\beta_k} [MPa] \quad (38)$$

$$\tau_k^* = \frac{0,25 \cdot 700 \cdot 0,9 \cdot 0,95}{1,22}$$

$$\tau_k^* = 122,643 [MPa]$$

Pozn.: Vzorec pro krut je shodný a všechny veličiny byly již definovány. Nyní lze spočítat bezpečnost průřezu jak pro namáhání v krutu, tak i pro namáhání ohybem:

$$K_{\sigma_0} = \frac{\sigma_0^*}{\sigma_{03}} = \frac{140,931}{35,86} = 3,93 [-] \quad (39)$$

$$K_{\tau_k} = \frac{\tau_k^*}{\tau_{k3}} = \frac{122,643}{1,4} = 87,662 [-] \quad (40)$$

Kde:

K celková bezpečnost hřídele v průřezu č. 1

K_{σ_0} bezpečnost v ohybu

K_{τ_k} bezpečnost v krutu

σ_0^* mezní ohybové napětí = 140,931 MPa

σ_{03} skutečné ohyb. nap. 1. průř. = 35,86 MPa

τ_k^* mezní krutové napětí = 122,643 MPa

τ_{k3} skutečné krut. nap. 1. průř. = 1,4 MPa

Výsledná bezpečnost je dána vztahem:

$$K = \sqrt{\left(\frac{1}{K_{\sigma_0}^2} + \frac{1}{K_{\tau_k}^2}\right)^{-1}} [-] \quad (41)$$

$$K = \sqrt{\left(\frac{1}{3,93^2} + \frac{1}{87,662^2}\right)^{-1}}$$

$$K = 3,925 [-]$$

Závěrem kapitoly pevnostního návrhu hřídele lze konstatovat, že byly provedeny výpočty potřebné k určení bezpečnosti hřídele v místě největšího namáhání, tedy v průřezu č. 3. Zde vyšla celková bezpečnost $K = 4,43$, což je hodnota vyšší než 1, a to tedy znamená zaručenou bezpečnost. Snahou autora bylo navrhnout hřídel tak, aby výsledná bezpečnost nešla pod hodnotu 2, což se povedlo. Druhé místo, které bylo kontrolováno, byl průřez č. 1 a 7, což jsou místa s největším krutovým namáháním. Výsledná bezpečnost těchto průřezů byla $K = 6,05$.

Návrh a kontrola ložiska

Zde bude zkontrolováno nejmenší ložisko soustavy, tedy ložisko osazené na hnacím hřídeli. Jedná se o ložisko 6002 – jednořadé kuličkové ložisko se základní dynamickou únosností $C = 4300$ N a povolenými otáčkami 20 000 ot / min.

Životnost v otáčkách je dána vztahem:

$$L_n = \left(\frac{C}{F_v}\right)^3 [\text{mil. ot.}] \quad (42)$$

$$L_n = \left(\frac{4300}{273,9}\right)^3$$

$$L_n = 3,8 \cdot 10^3 [\text{mil. ot.}]$$

Kde:

L_n životnost ložiska v otáčkách mil. ot.

C dynamická únosnost ložiska = 4300 N

F_v reakce v místě ložiska (vpravo) = 273,9 N

Životnost v hodinách je pak dána vzorcem:

$$L_h = \frac{L_n \cdot 10^6}{3600 \cdot \frac{n}{2}} [\text{hod}] \quad (43)$$

$$L_h = \frac{3,8 \cdot 10^3 \cdot 10^6}{3600 \cdot \frac{120}{2}}$$

$$L_h = 17,5 \cdot 10^3 [\text{hod}]$$

Kde:

L_h životnost ložiska v hodinách hod

L_n životnost ložiska v otáčkách = $3,8 \cdot 10^3$ mil. ot.

n otáčky hnacího hřídele = 120 ot / min

Otáčky $n = 120$ ot / min vychází z předpokladu, že se krokový motor bude pohybovat právě touto rychlostí. Ložisko bylo zvoleno dle rozměrů hnacího hřídele. Životnost v otáčkách vyšla vyšší než hodnota 4000 hodin, tudíž je ložisko zvoleno správně.

Návrh zdroje pro odporový drát

Odporový drát z kanthalu je prvek, který bude řezat provázky. Bude vystaven teplotě, která bude dostačující pro tavení polypropylenu, což je zhruba 200 °C. Odpor tohoto drátu je dán výrobcem. Vzhledem k délce řezné části, která je 40 mm, a vzhledem k přívodní části, je celková délka drátu odhadnuta na cca 0,4 metru. Odpor této vzdálenosti je dán vztahem:

$$R_o = R \cdot l [\text{ohm}] \quad (44)$$

$$R_o = 4,2 \cdot 0,4$$

$$R_o = 1,68 [\text{ohm}]$$

Kde:

R_o celkový odpor navrženého drátu ohm

R odpor drátu = 4,2 ohm / metr

l délka drátu = 0,4 m

Odpor, který je třeba překonat, aby se drát mohl ohřát na danou řeznou teplotu, je dán vztahem:

$$R_t = R_0 \cdot (1 + a \cdot \Delta t) [\text{ohm}] \quad (45)$$

$$R_t = 1,68 \cdot (1 + 49 \cdot 10^6 \cdot (200 - 20 + 273,15))$$

$$R_t = 1,71 [\text{ohm}]$$

Kde:

R_t tepelný odpor ohm

R₀ celkový odpor drátu = 1,68 ohm

a teplotní součinitel odporu kanthalu = 49.10⁶ K⁻¹

Δt rozdíl teplot tavení a okolí = 453,15 K⁻¹

Zbývá část výpočtů je dána Ohmovým zákonem, tedy vztahem:

$$I = \frac{U}{R_t} [A] \quad (46)$$

$$I = \frac{24}{1,71}$$

$$I = 14,03 [A]$$

$$P = U \cdot I [W] \quad (47)$$

$$P = 24 \cdot 14,03$$

$$P = 336 [W]$$

Kde:

I elektrický proud A

U elektrické napětí = 24 V

R_t tepelný odpor = 1,71 ohm

P výkon zdroje napětí W

I přes výpočty, které byly pro návrh odporového zdroje provedeny, není vhodné koupit zdroj, který je dán těmito hodnotami. V praxi se velmi často užívají zdroje, u kterých je možné proud regulovat. To znamená, že se těmito výpočty řídí pouze výběr

zdroje co se výkonu a napětí týče. Rozsah proudu se pak častokrát vybírá o hodně vyšší, než jak bylo vypočteno. Pro daný řezný systém byl zvolen zdroj Cleexcute Boss, což je profesionální pulzní zdroj, u kterého je možné hodnotu proudu nastavit v rozmezí 15 – 50 A.

7. Ekonomické zhodnocení

Cílem této kapitoly je srovnat současný stav řezání provázků se stavem, který byl navržen autorem práce. Druhá část zhodnocení bude pojednávat o finanční náročnosti na sestavení navrženého stroje.

Produktivita současného řezného aparátu byla stanovena v kapitole 2.2, kde byla vypočtena jako $P = 19,555 \text{ Ks} / \text{min}$. To znamená $1173,3 \text{ Ks} / \text{hod}$ a tedy 8799 Ks za pracovní směnu $7,5$ hodiny.

Produktivita byla stanovena na základě měření popsané v kapitole 2.2, skutečnost je však jiná. Ve skutečnosti se za jednu směnu vyrobí cca 6000 Ks provázků. Důvod, proč skutečná produkce neodpovídá produkci naměřené, může být ten, že obsluha, která vidí monitorování své práce, zrychlí, aby vypadala jako maximálně vytížená a pro podnik prospěšná. Dalším důvodem může být fakt, že se na řezném aparátu střídá více operátorů, z nichž jeden je rychlejší než ostatní a proto je reálná produktivita menší. Ať už z napsaného nebo jiného důvodu, bude produktivita pro následující hodnocení brána jako $P = 6000 \text{ Ks} / 7,5 \text{ hod}$. Cena jednoho kusu provázku, který opouští firmu, je $2,7 \text{ Kč}$.

Při dvousměnném provozu se denně vyrobí cca 12000 Ks provázků za celkovou cenu 32400 Kč .

Předpokládaný stav inovovaného výrobku

Návrh počítá s rychlostí elektrického krokového motoru $120 \text{ ot} / \text{min}$. Vzhledem k vzorci (14) byl čas potřebný k odvinutí provázku o délce 424 mm odhadnut na $0,6 \text{ sec}$. Čas potřebný k přetavení byl stanoven na základě zkoumání současného aparátu a odhadnut na cca 2 sec . Celkový čas pro vykonání jednoho pracovního cyklu stroje je stanoven součtem těchto dvou časů, tedy $2,6 \text{ sec}$. A to znamená, že produktivita navrženého stroje bude $2 \text{ Ks} / 2,6 \text{ sec}$. Tuto hodnotu je třeba přepočíst na $\text{Ks} / 7,5 \text{ hod}$, výsledek je tedy $20770 \text{ Ks} / 7,5 \text{ hod}$. Vzhledem k současnému stavu se jedná o produktivitu o 346% vyšší. Skutečnost bude pravděpodobně jiná, v odhadech produktivity nejsou zahrnuty časy seřízení stroje, popřípadě časy výměny provázků a pod. Obecně lze ale říci, že se původní stav zlepší několikanásobně, což splňuje podmínku inovace – zlepšení současného stavu.

Finanční náročnost navrženého stroje

Tab. č. 10: Odhad ceny stroje, část první

Odhad ceny stroje				
POZICE	KS	ČÍSLO SOUČÁSTI	POPIS	Cena [Kč]
1	4	Profil_40x40x800		8800
2	9	Profil_40x40x500		
3	6	Profil_40x40x720		
4	9	Profil_40x40x300		
5	2	Profil_40x40x600		
6	4	Profil_40x40x160		
7	1	Lamela_vedeni_kladek		1200
8	8	Distancni_krouzek_25-45		40
9	8	Kolecko_paletove_lozisko		2080
10	2	Profil_40x40_zkoseny		85
11	8	Cep_kolecko_paletove		600
12	8	Podlozka_10-45		10
13	8	Sroub_M10x40		20
14	40	Sroub_M8x14		23
15	3	Pripravek_vrsek		500
16	2	Zakladova_deska_1		2000
17	1	Drzak_motoru		500
18	1	Krokovy_motor		1384
19	1	Pruzna_spojka		386
20	49	Sroub_M5x10		100
21	1	Hridel_hnaci		320
22	4	Lozisko_hnaci_hridel		344
23	2	Domecek_lozisko		702
24	4	Kladka		632
25	4	Vedeni_provazku_vlozka		20
26	2	Sverne_pouzdro_vrsek		230
27	2	Kryci_krouzek_pruzna_spojka		N
28	12	M3x6_imbus		24
29	4	M4x6_imbus		8
30	4	Profil_40x40x1300		520
31	2	Policka		200
32	1	Cep_rotace		32
33	1	Hridel_pritlacny		42
34	2	Rameno_pritlacne		120
35	10	Podlozka_M6		10
36	2	Matice_M6		4
37	2	Podlozka_M10		4
38	2	Matice_M10		4
39	2	Kolik_5x30		6
40	2	Talir_pruzina		15

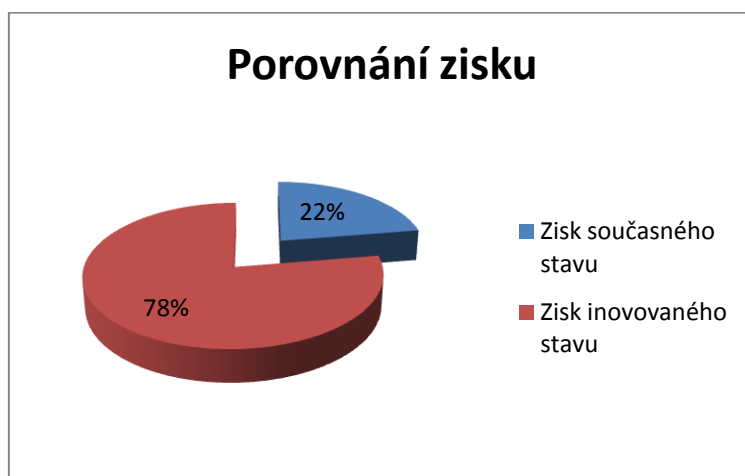
Tab č. 11: Odhad ceny stroje, část druhá

Odhad ceny stroje				
POZICE	KS	ČÍSLO SOUČÁSTI	POPIS	Cena [Kč]
41	1	Pruzina_20x44,1		49
42	1	L_profil_pruzina		42
43	10	Sroub_M5x25		20
44	1	Kamen		12
45	2	Kluzne_lozisko		188
46	2	Pojistny_krouzek_cep		56
47	1	Rukojet_paka		109
48	2	Dvere_skrin		300
49	1	Deska_skrin		200
50	2	Deska_skrin_bok		150
51	18	sch8_30zn_asm		15
52	8	Han160Pa		20
53	2	Profil_40x40x50		60
54	2	Profil_40x40x100		
55	1	Deska_300x90		300
56	1	Pripravek_spodek		180
57	8	Podlozka_M5		16
58	1	Deska_300x50		280
59	1	Linearni_valec_SMC_CXS		789
60	2	Sroub_M10x35		4
61	8	Matice_M5		16
62	1	Deska_50x25		85
63	2	Rezac_L_profil		80
64	1	Rozperna_tyc		25
65	1	Odporovy_drat		29
66	1	Krabicka		4
67	1	Kryt_240x600		320
68	1	Navadeci_ocko		45
69	4	Kryt_360x300		820
70	1	Kryt_500x100		290
71	1	Kryt_500x160		305
72	2	Kryt_720x100		700
73	1	Kryt_720x220		348
74	4	Ste40M870		85
75	8	Senzor_magneticky		885
76	2	Svetelna_zavora		3682
77	4	L_profil_opticka_brana		236
78	1	Deska_andon		52
79	1	Andon		450
80	1	Deska_LCD_300x300		3500
81	1	LCD		3500

Celková cena stroje byla odhadnuta na 39212 Kč. Vzhledem k výše uvedeným prvkům nejsou do ceny stroje započítány řídicí jednotky motorů a řídicí stanice LCD monitoru. Nejsou započítány ceny dopravy komponent a skryté náklady, jako např. krácení profilů ránu na předem danou délku, náklady na seřízení prvků, náklady na vodiče, kabely, koncovky a spojky apod. Odhadovaná cena bude tedy vyšší, a to zhruba o 50 % stávající částky. Celková cena stroje se bude pohybovat okolo 60000 Kč.

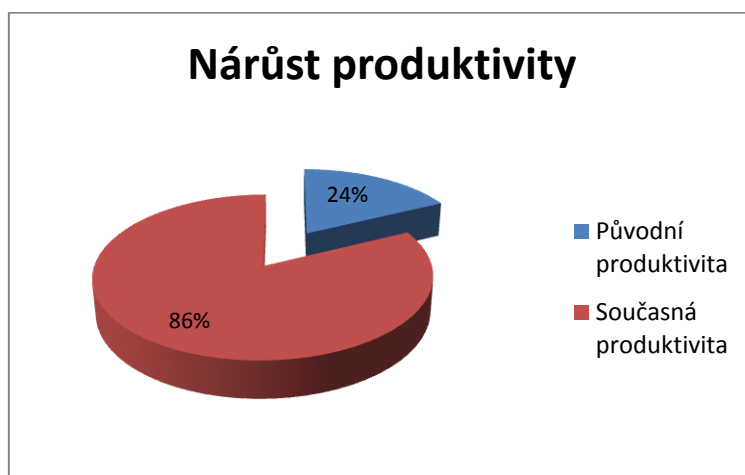
Zisk současného stavu (za jednu směnu) 16200 Kč

Zisk inovovaného stavu (za jednu směnu) 56079 Kč



Obr. č. 28: Porovnání nárůstu zisku

Zdroj: Vlastní



Obr. č. 29: porovnání nárůstu produktivity

Zdroj: Vlastní

Závěr

V diplomové práci byl navržen inovovaný stroj na řezání plastových lanek, přesně dle cílů práce.

Byl vypracován úvod a seznámení s firmou Ingserviss – Plast s. r. o., kde se představilo inovační inženýrství a jeho charakteristika. Dále byla představena firma, společně s její produkcí.

Současný stav byl rozpracován jak po stránce procesu, tak po stránce pracoviště řezání provázku. Byl popsán stávající řezný aparát, společně i jeho princip. Následovalo určení technických dat polotovaru i řezacího aparátu. Ve své podstatě se jednalo o formu reverse engineeringu, kdy byl detailně analyzován současný aparát. Následně se provedla studie, která určila produktivitu práce – jednoho z hlavních parametrů. Jako posledním bodem bylo určení výhod a nevýhod současného stavu.

Následovalo sestavení seznamu příležitostí v dané problematice. Průzkum trhu byl řešen především detailním prozkoumáním internetových zdrojů. Vzhledem k specifické povaze práce byla prozkoumána i oblast nabídky textilních, řezacích a tavicích strojů. Na závěr byly sestaveny možnosti, využitelné v daném problému.

Z předchozích tří bodů bylo sestaveno pět konceptů. V nich se představily jednotlivé principy, nalezené v předchozí kapitole. Koncepty byly pro názornost naskicovány, popsány a jednoduše zhodnoceny.

Další kapitola řešila výběr nejlepšího konceptu a vzhledem k důležitosti kapitoly byla i velice detailně rozpracována. Na počátku byly představeny metody, kterými je možné koncepty správně vybrat. Vzhledem k povaze kapitoly byly použity metody dvě. Provedly se rozhodovací matice (nejprve hrubá, která ze všech konceptů vybrala do druhého kola tři nejlepší, a pak i jemná, která z užšího výběru definovala vítěze), které se doplnili o intuitivní výběr autora. Celý výběr byl detailně zkonzultován s vedoucím práce, Prof. Ing. Ladislavem Ševčíkem, Csc, kde byly stanoveny drobné konstrukční úpravy vítězného konceptu.

Poté byl představen detailní konstrukční návrh automatizovaného stroje, který nahradí současný řezací aparát. Detailně bylo zpracováno zdvojené vstupní zařízení do stroje, zdvojené hnací ústrojí, které pohánělo provázek do další části – řezného ústrojí. Vše bylo doplněno o bezpečnostní, ovládací prvky a taktéž i o výpočty. Vzhledem

k faktu, že se navrhoval nový, jednoúčelový stroj, bylo zapotřebí podpořit základní principy a i konstrukční část výpočty, které potvrdí správnost návrhu stroje.

Ekonomické zhodnocení byla poslední kapitola práce. Zde se provedlo jednoduché odhadnutí výroby pro nově navržený stroj, společně s jeho odhadovanou cenou.

Na závěr je ještě nutné zhodnotit parametry, které byly definovány na str. 12. Vzhledem k cílům práce byly definovány hodnoty současného stavu, které se zhodnotí s teoretickými hodnotami inovovaného zařízení (více viz str. 63).

Produktivita	P	= 19,555 Ks / min	➡	P = 46,154 Ks / min
Množství – ks	M	= 6000 Ks / směnu	➡	M = 20770 Ks / směnu
Denní zisk	Z	= 32400 Kč	➡	Z = 112158 Kč
Čas cyklu do 3,2 sec			➡	2,6 sec
Délka provázku 424 mm			➡	424 mm
Tolerance (dána krokovým motorem) ± 1 mm			➡	± 0,1 mm
Teplota tavení > teplota tání PP			➡	cca 200°C
Krytí, senzory, obrazovka, andon			➡	Opatřeno, viz obr. 22

Parametry, které byly definovány no počátku práce (str. 12), se podařilo zlepšit, a to hned několikanásobně. Ke zlepšení došlo i u ceny zařízení. Ta byla stanovena na 80000 Kč. Cena inovovaného zařízení byla odhadnuta na 60000Kč, což podmínku splňuje.

Doufám, že výsledek, který má diplomová práce nese, bude pro firmu přínosem a zároveň i motivací k větší pozornosti na inovační inženýrství. Práce byla zhotovena pouze pro jedno pracoviště, princip, kterým byla problematika řešena, je však možné využít i pro další inovace a zlepšení dalších pracovišť. Inovační inženýrství je silný nástroj pro udržení moderního podniku konkurenceschopným a rozhodně má cenu se nad tímto oborem zastavit.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] LIKER, J. *Tak to dělá Toyota*. 1. vyd. Praha: Management Press, 2007. 390 s. ISBN 978-80-7261-173-7.
- [2] MAŠÍN, I. *Inovační inženýrství. Plánování a návrh inovovaného výrobku*. 1. vyd. Liberec: Tisk ReportArt, 2012. 178 s. ISBN 978-80-7372-852-6.
- [3] INOVACE. [online]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Inovace>
- [4] LASER. [online]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Laser>
- [5] ŘEZÁNÍ PLAMENEM. Souch [online]. Dostupné z: http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCEQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.souch.cz%2Fdok%2Frezani%2520plamenem.doc&ei=oHEyVaXIIaHC7Abz0YGIaw&usg=AFQjCNFw-zJktDjXlcDNXgSyjNdLw1bpeg&sig2=5vuYJKyP5NQwHv_jFVGobQ&bvm=bv.91071109,d.ZGU
- [6] PLASMA. [online]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Plasma>
- [7] SHINGLEY, J., MISCHKE, C., BUDYNAS, R. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. Brno: NAKLADATELSTVÍ VUTIUM, 2010. 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0
- [8] KUBÍČKOVÁ, L., RAIS, K. *Řízení změn ve firmách a jiných organizacích*. 1. vyd. Praha: GRADA PUBLISHING, 2012. 136 s. ISBN 978-80-247-4564-0.
- [9] JÁGROVÁ, J., Přednášky předmětu Dynamická únosnost strojních součástí
- [10] KROKOVÉ MOTORY. [online]. Dostupné z: <http://www.jmf.cz/navrh.htm>
- [11] ELEKTRICKÝ KROKOVÝ MOTOR. [online]. Dostupné z: <http://www.cncshop.cz/57hs22-krokovy-2-fazovy-motor-2-2nm>
- [12] DIMENZOVÁNÍ KROKOVÝCH MOTORŮ. [online]. Dostupné z: <http://www.pohonnatechnika.cz/dimenzovani-servo-a-krokovych-motoru>
- [13] MOMENTY SETRVAČNOSTI. [online]. Dostupné z: http://www.haberkorn.cz/data/files/file/pohonne-systemy/prislusenstvi-pohonu/08_Spojenci-hridel-naboj_sverna-pouzdra-BK.pdf
- [14] SVĚRNÁ POUZDRA BK. [online]. Dostupné z: http://www.haberkorn.cz/data/files/file/pohonne-systemy/prislusenstvi-pohonu/08_Spojenci-hridel-naboj_sverna-pouzdra-BK.pdf

- [15] ODPOROVÝ DRÁT KANTHAL. [online]. Dostupné z:
<http://www.gme.cz/odporovy-drat-elchemco-odp-kan04-1m-p653-023>
- [16] VALIVÉ TŘENÍ. [online]. Dostupné z:
<http://www.converter.cz/tabulky/valive-treni.htm>
- [17] LINEÁRNÍ MOTOR. [online]. Dostupné z:
<http://pavel.lasakovi.com/projekty/elektrotechnika/linearni-motor/>
- [18] NAPÁJECÍ ZDROJ. [online]. Dostupné z:
<http://www.cncshop.cz/s350-prumyslovy-spinany-napajeci-zdroj-350w>
- [19] SENZOR NA DVEŘE. [online]. Dostupné z:
<http://www.czc.cz/ubiquiti-mfi-ds-senzor-na-dvere/139378/produkt>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1: Technický a ekonomický rozvoj v souladu s inovační frekvencí.....	11
Obr. č. 2: Držáky autobaterií Varta.....	13
Obr. č. 3: Držáky pro nákladní vozy.....	13
Obr. č. 4: Stávající zařízení pro řezání.....	15
Obr. č. 5: Výhody a nevýhody současného řezacího aparátu.....	17
Obr. č. 6: Možnosti tavného řezání.....	18
Obr. č. 7: Stacionární řezačka.....	19
Obr. č. 8: Řezání laserem.....	20
Obr. č. 9: Remote cutting.....	20
Obr. č. 10: Odporová drátová řezačka.....	22
Obr. č. 11: Schéma prvního konceptu.....	24
Obr. č. 12: Navrhované řezné ústrojí.....	25
Obr. č. 13: Schéma druhého konceptu.....	26
Obr. č. 14: Schéma třetího konceptu.....	27
Obr. č. 15: Schéma čtvrtého konceptu.....	28
Obr. č. 16: Schéma pátého konceptu.....	29
Obr. č. 17: Metody výběru konceptu.....	31
Obr. č. 18: Stroj pro řezání plastových lanek.....	35
Obr. č. 19: Vstupní část stroje.....	36
Obr. č. 20: Pohled na část hnacího stroje.....	38
Obr. č. 21: Pohled na řezné ústrojí.....	40
Obr. č. 22: Bezpečnostní, ovládací a signalizační prvky stroje.....	43
Obr. č. 23: Výpočtové schéma stroje.....	45
Obr. č. 24: Valivý odpor.....	47
Obr. č. 25: Hnací hřídel.....	54
Obr. č. 26: Schéma prvního řezu.....	56

Obr. č. 27: Průběh ohybového napětí v krutu.....	57
Obr. č. 28: Porovnání nárůstu zisku.....	66
Obr. č. 29: Porovnání nárůstu produktivity.....	66

SEZNAM TABULEK

Tab. č. 1: Technická data polotovaru.....	15
Tab. č. 2: Technická data provázku.....	15
Tab. č. 3: Měření produktivity.....	16
Tab. č. 4: Rozhodovací matice.....	32
Tab. č. 5: Jemná rozhodovací matice.....	33
Tab. č. 6: Specifikace parametrů krokového motoru.....	37
Tab. č. 7: Momenty setrvačnosti.....	44
Tab. č. 8: Napětí v krutu jednotlivých průřezů.....	55
Tab. č. 9: Napětí v ohybu jednotlivých průřezů.....	57
Tab. č. 10: Odhad ceny stroje, část první.....	64
Tab. č. 11: Odhad ceny stroje, část druhá.....	65

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Součinitel α (2 str.)
Příloha 2	Krokový motor 57HS22 (2 str.)
Příloha 3	Lineární válec CXS (3 str.)